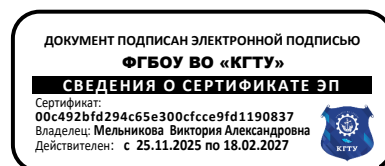




Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

УТВЕРЖДАЮ
Начальник УРОПС



Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе модуля)

«ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ И ГАЗА»

основной профессиональной образовательной программы специалитета
по специальности

**26.05.07 ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ
АВТОМАТИКИ**

Специализация программы

**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ»**

ИНСТИТУТ
РАЗРАБОТЧИК

Морской
Кафедра судовых энергетических установок

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
ОПК-2: Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, аналитические методы в профессиональной деятельности	ОПК-2.7: Применяет знания основных принципов работы инженерных систем холодильной техники с учетом физических свойств жидкостей и газов	Основы механики жидкости и газа	<u>Знать</u>: основные понятия и определения механики жидкости и газа, гидромеханические процессы, протекающие в энергетических аппаратах. <u>Уметь</u>: использовать базовые знания об основных законах механики жидкости и газа, применять закономерности механики жидкости и газа в процессах, протекающих в энергетических аппаратах, для решения профессиональных задач. <u>Владеть</u>: методами расчета гидромеханических процессов, проходящих в энергетических установках; принципами конструирования гидромеханических систем.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания;
- задания по темам практических занятий;

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме зачета, относятся:

- задания по контрольным работам;
- промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

3.1 Тестовые задания

Тестовые задания предназначены для оценки в рамках текущего контроля успеваемости знаний, приобретенных курсантами на лекционных занятиях и для измерения соответствующих индикаторов достижения компетенции.

3.1.1. Содержание оценочных средств

Тестовые задания объединены в блоки (тесты), каждый из которых соответствует теме теоретического курса. Каждый блок (тест) в зависимости от объема соответствующей темы или работы включает в себя от 5 до 51 задания (текст при необходимости с иллюстрацией), одного из следующих типов: одиночный выбор, множественный выбор, указание порядка, сопоставление, ручной ввод числа. Индивидуальные тесты формируются случайной выборкой из всего объема вопросов блока, при этом объем индивидуального теста составляет 5-10 вопросов. Время на ответ ограничено. Предусмотрена остановка теста при достижении критического количества ошибок.

Типовые тестовые задания представлены в Приложении № 1.

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Шкала оценивания основана на четырехбалльной системе, которая реализована в программном обеспечении.

Оценка «отлично» выставляется при правильном выполнении не менее 90% заданий.

Оценка «хорошо» выставляется при правильном выполнении не менее 80% заданий.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при правильном выполнении не менее 60% заданий.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при правильном выполнении менее 60%

заданий.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении не менее 60% заданий.

Оценка за выполнение теста определяется количеством правильно выполненных заданий, выраженным в процентном отношении.

Лицо, использующее тестовые средства, по своему усмотрению может изменить как критерии оценивания, так и шкалу оценивания.

3.2 Типовые задания и контрольные вопросы по темам практических занятий представлены в Приложении № 2.

3.2.1. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Шкала оценивания основана на двухбалльной системе.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном выполнении не менее 70% заданий.

Оценка «незачтено» выставляется при правильном выполнении менее 70% заданий.

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Контрольные вопросы к зачету представлены в Приложении № 4.

4.1.1. Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Шкала оценивания основана на двухбалльной системе, которая реализована в программном обеспечении.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном выполнении не менее 70% заданий.

Оценка «незачтено» выставляется при правильном выполнении менее 70% заданий.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при правильном выполнении не менее 70% заданий.

4.2 Задания по контрольным работам (заочная форма обучения)

4.2.1. Содержание оценочных средств

Контрольная работа представляет собой перечень задач, условия которых включает собой текстовую, а при необходимости и иллюстративную часть, с числовыми значениями исходным величин и перечнем величин, для которых необходимо найти либо числовые значения величин, либо их аналитическое описание.

Типовые задания к контрольной работе представлены в Приложении № 3.

4.2.3 Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Шкала оценивания результатов выполнения заданий основана на четырехбальной системе.

Оценка «отлично» выставляется в случае, если для задания приведено полное теоретическое обоснование, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам и без ошибок, выводы приведены полностью и по существу, курсант (студент) понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать развернутый и полный ответ на любой из контрольных вопросов, отчет оформлен в соответствии с установленными требованиями.

Оценка «хорошо» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено с пробелами, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам, но с некоторыми арифметическими ошибками, отчет оформлен с некоторыми нарушениями требований, однако выводы приведены полностью и по существу, а курсант понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать ответ на любой из контрольных вопросов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено формально и излишне кратко, расчеты выполнены по правильным формулам и алгоритмам, но со множеством арифметических ошибок, отчет оформлен с нарушениями требований, выводы приведены не полностью, ответы на контрольные вопросы вызывают затруднения и (или) излишне лаконичны, однако курсант понимает и может пояснить ход решения и привести экспликацию любой формулы, а также может дать ответ на любой из контрольных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если теоретическое обоснование приведено формально и излишне кратко, или не приведено вовсе, расчеты выполнены с использованием неправильных алгоритмов и формул, отчет оформлен с нарушениями требований, выводы приведены не полностью или не приведены вовсе, курсант плохо понимает (или не понимает вовсе) и не может пояснить ход решения, а также не может ответить на контрольные вопросы.

Результаты измерений индикатора считаются положительными при положительной оценке за выполнение задания.

5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Основы механики жидкости и газа» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы специалитета по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» (специализация «Эксплуатация главной судовой двигательной установки»).

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры судовых энергетических установок (протокол № 10 от 27.04.2022).

Зав. кафедрой _____ И.М. Дмитриев



Приложение № 1

Тест № 1

1. «Основы механики жидкости и газа» - это наука о ...

- а) движении жидкости;
- б) равновесии жидкостей;
- в) взаимодействии жидкостей;
- г) равновесии и движении жидкостей.

2. Жидкость – это физическое вещество, способное ...

- а) заполнять пустоты;
- б) изменять форму под действием сил;
- в) изменять свой объем;
- г) течь.

3. Не является газообразной жидкостью ...

- а) жидкий азот;
- б) ртуть;
- в) водород;
- г) кислород;

4. Идеальной жидкостью называется жидкость, ...

- а) в которой отсутствует внутреннее трение;
- б) подходящая для применения;
- в) способная сжиматься;
- г) существующая только в определенных условиях.

5. Силы называются массовыми ...

- а) сила тяжести и сила инерции;
- б) сила молекулярная и сила тяжести;
- в) сила инерции и сила гравитационная;
- г) сила давления и сила поверхностная.

6. Жидкость находится под давлением - это означает ...

- а) жидкость находится в состоянии покоя;
- б) жидкость течет;
- в) на жидкость действует сила;
- г) жидкость изменяет форму.

7. Если давление отсчитывают от абсолютного нуля, то его называют: ...

- а) давление вакуума;
- б) атмосферным;

- в) избыточным;
- г) абсолютным.

8. Если давление ниже относительного нуля, то его называют: ...

- а) абсолютным;
- б) атмосферным;
- в) избыточным;
- г) давление вакуума.

9. Атмосферное давление при нормальных условиях равно ...

- а) 100 МПа;
- б) 100 кПа;
- в) 10 ГПа;
- г) 1000 Па.

10. Массу жидкости, заключенную в единице объема называют ...

- а) весом;
- б) удельным весом;
- в) удельной плотностью;
- г) плотностью.

11. При увеличении температуры удельный вес жидкости ...

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- г) сначала увеличивается, а затем уменьшается;
- в) не изменяется.

12. Сжимаемость жидкости характеризуется коэффициентом ...

- а) Генри;
- б) температурного сжатия;
- в) поджатия;
- г) объемного сжатия.

13. Вязкость жидкости - это способность ...

- а) сопротивляться скольжению или сдвигу слоев жидкости;
- б) преодолевать внутреннее трение жидкости;
- в) преодолевать силу трения жидкости между твердыми стенками;
- г) перетекать по поверхности за минимальное время.

14. Вязкость жидкости не характеризуется ...

- а) кинематическим коэффициентом вязкости;
- б) динамическим коэффициентом вязкости;

- в) градусами Энглера;
- г) статическим коэффициентом вязкости.

15. Динамический коэффициент вязкости обозначается греческой буквой ...

- а) ν ;
- б) μ ;
- в) η ;
- г) τ .

16. Вязкость жидкости при увеличении температуры ...

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) остается неизменной;
- г) сначала уменьшается, а затем остается постоянной.

17. Выделение воздуха из рабочей жидкости называется ...

- а) парообразованием;
- б) газообразованием;
- в) пенообразованием;
- г) газовыделение.

18. При окислении жидкостей не происходит ...

- а) выпадение смол;
- б) увеличение вязкости;
- в) изменения цвета жидкости;
- г) выпадение шлаков.

19. Интенсивность испарения жидкости не зависит от ...

- а) от давления;
- б) от ветра;
- в) от температуры;
- г) от объема жидкости.

20. Закон Генри, характеризующий объем растворенного газа в жидкости записывается в виде ...

- а) $\beta_t = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$;
- б) $\beta_t = \frac{1}{V} \frac{dt}{dV}$;
- в) $\beta_t = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$;
- г) $\beta_t = \frac{1}{t} \frac{dV}{dt}$.

Тест №2

1. Разделы, на которые делится гидравлика ...

- а) гидростатика и гидромеханика;
- б) гидромеханика и гидродинамика;
- в) гидростатика и гидродинамика;
- г) гидрология и гидромеханика.

2. Гидростатическое давление - это давление присутствующее ...

- а) в движущейся жидкости;
- б) в покоящейся жидкости;
- в) в жидкости, находящейся под избыточным давлением;
- г) в жидкости, помещенной в резервуар.

3. Среднее гидростатическое давление, действующее на дно резервуара равно ...

- а) произведению глубины резервуара на площадь его дна и плотность;
- б) произведению веса жидкости на глубину резервуара;
- в) отношению объема жидкости к ее плоскости;
- г) отношению веса жидкости к площади дна резервуара.

4. Второе свойство гидростатического давления гласит гидростатическое давление ...

- а) постоянно и всегда перпендикулярно к стенкам резервуара;
- б) изменяется при изменении местоположения точки;
- в) неизменно в горизонтальной плоскости;
- г) неизменно во всех направлениях.

5. Уравнение, позволяющее найти гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема называется основным уравнением ...

- а) гидростатики;
- б) гидродинамики;
- в) гидромеханики;
- г) гидродинамической теории.

6. Среднее гидростатическое давление, действующее на дно резервуара определяется по формуле

а) $P_{cp} = \frac{G}{V}$; б) $P_{cp} = \frac{V}{P_{атм}}$; в) $P_{cp} = \frac{\gamma V}{G}$; г) $P_{cp} = \frac{P}{S}$.

7. Основное уравнение гидростатики определяется

- а) произведением давления газа над свободной поверхностью к площади свободной поверхности;
- б) разностью давления на внешней поверхности и на дне сосуда;

- в) суммой давления на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев;
 г) отношением рассматриваемого объема жидкости к плотности и глубине погружения точки.

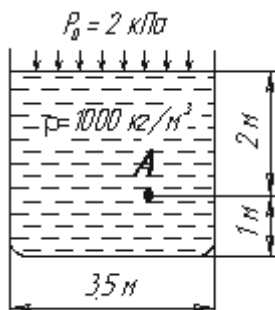
8. "Давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково" – это закон ...

- а) Ньютона;
 б) Паскаля;
 в) Никурадзе;
 г) Жуковского.

9. Поверхность уровня - это ...

- а) поверхность, во всех точках которой давление изменяется по одинаковому закону;
 б) поверхность, во всех точках которой давление одинаково;
 в) поверхность, во всех точках которой давление увеличивается прямо пропорционально удалению от свободной поверхности;
 г) свободная поверхность, образующаяся на границе раздела воздушной и жидкой сред при относительном покое жидкости.

10. Гидростатическое давление в точке А равно ...

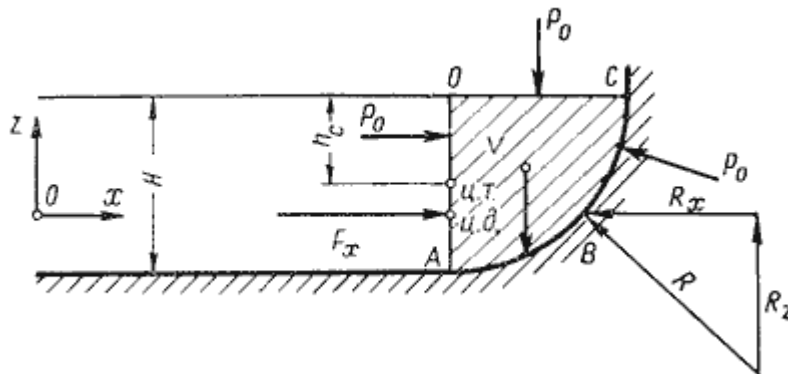


- а) 19,62 кПа;
 б) 31,43 кПа;
 в) 21,62 кПа;
 г) 103 кПа.

11. Равнодействующая гидростатического давления в резервуарах с плоской наклонной стенкой равна ...

- а) $F = \gamma \rho S$;
 б) $F = \frac{\gamma h S}{2} \cos \alpha$;
 в) $F = \rho S h_c$;
 г) $F = \frac{\gamma H}{2} S$.

12. Сила гидростатического давления на цилиндрическую боковую поверхность по оси Ox равна ...



- а) $F_z = \frac{\gamma}{V}$;
- б) $F_z = \gamma V$;
- в) $F_z = \gamma V H$;
- г) $F_z = \gamma S_z h_c$.

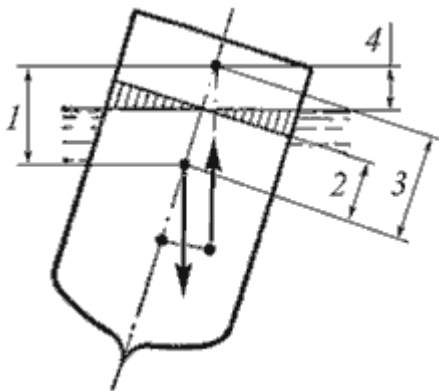
13. Равнодействующая гидростатического давления на цилиндрическую боковую поверхность равна ...

- а) $F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2 + F_y^2}$;
- б) $F = \sqrt{F_x^2 - F_z^2 - F_y^2}$;
- в) $F = \sqrt[3]{F_x^3 + F_z^3 + F_y^3}$;
- г) $F = \sqrt[3]{(F_x + F_z + F_y)^2}$.

14. Способность плавающего тела, выведенного из состояния равновесия, вновь возвращаться в это состояние называется ...

- а) устойчивостью;
- б) остойчивостью;
- в) плавучестью;
- г) непотопляемостью.

15. Укажите на рисунке метацентрическую высоту

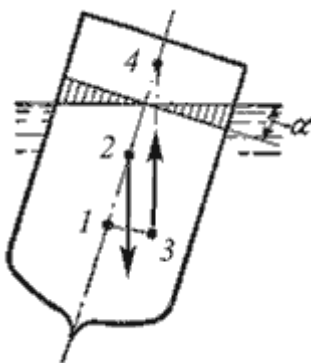


- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

16. Вес жидкости, взятой в объеме погруженной части судна называется ...

- а) погруженным объемом;
- б) водоизмещением;
- в) вытесненным объемом;
- г) водопоглощением.

17. Укажите на рисунке местоположение метацентра ...



- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

18. Если судно после воздействия опрокидывающей силы продолжает дальнейшее опрокидывание, то метацентрическая высота ...

- а) имеет положительное значение;
- б) имеет отрицательное значение;
- в) равна нулю;
- г) уменьшается в процессе возвращения судна в исходное положение.

19. По какому критерию определяется способность плавающего тела изменять свое дальнейшее положение после опрокидывающего воздействия по ...

- а) метацентрической высоте;
- б) водоизмещению;
- в) остойчивости;
- г) оси плавания.

20. Во вращающемся цилиндрическом сосуде свободная поверхность имеет форму

- а) параболы;
- б) гиперболы;
- в) конуса;
- г) свободная поверхность горизонтальна.

Тест №3

1. Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется ...

- а) открытым сечением;
- б) живым сечением;
- в) полным сечением;
- г) площадь расхода.

2. Объем жидкости, протекающий за единицу времени через живое сечение называется ...

- а) расход потока;
- б) объемный поток;
- в) скорость потока;
- г) скорость расхода.

3. Отношение живого сечения к смоченному периметру называется ...

- а) гидравлическая скорость потока;
- б) гидродинамический расход потока;
- в) расход потока;
- г) гидравлический радиус потока.

4. Движение, при котором скорость и давление изменяются не только от координат пространства, но и от времени называется ...

- а) ламинарным;
- б) стационарным;
- в) неустановившимся;
- г) турбулентным.

5. Средняя скорость потока обозначается буквой ...

- а) χ ;
- б) V ;
- в) v ;
- г) ω .

6. При неустановившемся движении, кривая, в каждой точке которой вектора скорости в данный момент времени направлены по касательной называется ...

- а) траектория тока;
- б) трубка тока;
- в) струйка тока;
- г) линия тока.

7. Элементарная струйка - это ...

- а) трубка потока, окруженная линиями тока;
- б) часть потока, заключенная внутри трубки тока;
- в) объем потока, движущийся вдоль линии тока;
- г) неразрывный поток с произвольной траекторией.

8. Течение жидкости без свободной поверхности в трубопроводах с повышенным или пониженным давлением называется ...

- а) безнапорное;
- б) напорное;
- в) неустановившееся;
- г) несвободное (закрытое).

9. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид ...

- а) $z_1 + \frac{P_1}{2g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}$
- б) $z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$;
- в) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$;
- г) $z_1 + \frac{v_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{P_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{P_2^2}{2g}$.

10. Уравнение Бернулли для реальной жидкости имеет вид ...

а) $z_1 + \alpha_1 \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \alpha_2 \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - \sum h;$

б) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h;$

в) $z_1 + \frac{P_1}{2g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{\rho g} + \sum h;$

г) $z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h.$

11. Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением $\frac{P}{\rho g}$ называется ...

- а) скоростной высотой;
- б) геометрической высотой;
- в) пьезометрической высотой;
- г) потерянной высотой.

12. Уравнение Бернулли для двух различных сечений потока дает взаимосвязь между ...

- а) давлением, расходом и скоростью;
- б) скоростью, давлением и коэффициентом Кориолиса;
- в) давлением, скоростью и геометрической высотой;
- г) геометрической высотой, скоростью, расходом.

13. Показание уровня жидкости в трубке Пито отражает ...

- а) разность между уровнем полной и пьезометрической энергией;
- б) изменение пьезометрической энергии;
- в) скоростную энергию;
- г) уровень полной энергии.

14. Линейные потери вызваны ...

- а) силой трения между слоями жидкости;
- б) местными сопротивлениями;
- в) длиной трубопровода;
- г) вязкостью жидкости.

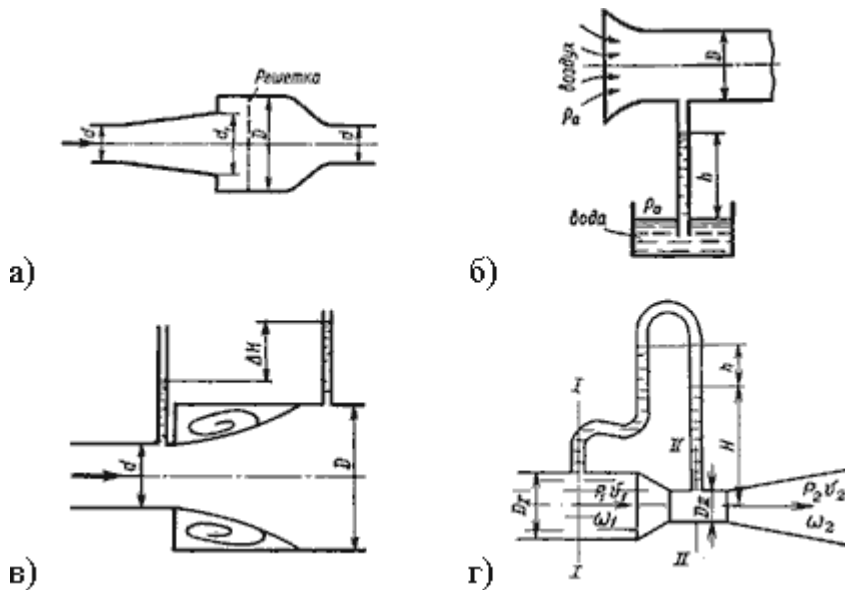
15. На участке трубопровода между двумя его сечениями, для которых записано уравнение Бернулли можно установить следующие гидроэлементы ...

- а) фильтр, отвод, гидромотор, диффузор;
- б) кран, конфузор, дроссель, насос;
- в) фильтр, кран, диффузор, колено;
- г) гидроцилиндр, дроссель, клапан, сопло.

16. Для измерения скорости потока используется ...

- а) трубка Пито;
- б) пьезометр;
- в) вискозиметр;
- г) трубка Вентури.

17. Укажите, на каком рисунке изображен расходомер Вентури ...



18. Расход потока измеряется в следующих единицах ...

- а) m^3 ;
- б) m^2/c ;
- в) $m^3 c$;
- г) m^3/c .

19. Неустановившееся движение жидкости характеризуется уравнением ...

- а) $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z)$
- б) $v = f(x, y, z); P = \varphi(x, y, z, t)$
- в) $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z, t)$
- г) $v = f(x, y, z, t); P = \varphi(x, y, z)$

20. Значение коэффициента Кориолиса для турбулентного режима движения жидкости равно ...

- а) 1,5;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 1.

Приложение № 2

Типовые задания и контрольные вопросы практических занятий

Практическое занятие № 1

Тема: Способы измерения давления. Опыты Рейнольдса

Задание

1. Установить показания пьезометра и дифференциального манометра. Опыт повторить три раза.
2. Перевести показания пьезометра и дифференциального манометра из мм рт. ст. в м вод. ст., в атмосферы, Па и МПа.
3. По секундомеру определить время заполнения мерного бака жидкостью и одновременно время, в течение которого большая стрелка водомера совершит один оборот. Опыт повторить три раза.
4. Определить расход жидкости по мерному баку и по расходомеру.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатическое давление и его свойства?
2. Каковы соотношения абсолютного давления с избыточным и вакууметрическим?
3. Чему равна максимально возможная величина вакуума?

Практическое занятие № 2

Тема: Исследование потерь напора на трение при ламинарном режиме течения жидкости в трубе

Задание

1. На основании экспериментальных данных определить зависимость между потерями напора на трение и средней скоростью жидкости при ламинарном режиме течения.
2. Построить графическую зависимость.
3. Экспериментальную зависимость сравнить с теоретической.

Контрольные вопросы

1. Какой режим течения жидкости называется ламинарным?
2. Чему равно критическое число Рейнольдса при протекании жидкости по круглой трубе?
3. Теоретическая формула для определения коэффициента гидравлического трения при ламинарном режиме течения жидкости.

Практическое занятие № 3

Тема: Исследование потерь напора на трение при турбулентном режиме течения жидкости в трубе

Задание

1. На основании экспериментальных данных определить зависимость между потерями напора на трение и средней скоростью жидкости при турбулентном режиме течения.
2. Построить графическую зависимость.
3. По графику определить показатель степени скорости.

Контрольные вопросы

1. Почему необходимо при гидравлических расчетах трубопровода определять критерий Рейнольдса?
2. Какие существуют зоны сопротивления для определения коэффициента гидравлического трения в зависимости от числа Рейнольдса и шероховатости внутренней поверхности трубы?
3. Как определить коэффициент гидравлического трения по графику ВТИ?

Приложение № 3

**Формулировки типовых задач контрольной работы
для студентов заочной формы обучения**

1. Бочка заполнена смазочным маслом и плотно закрыта при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 10^5$ Па. Определить давление в бочке при температуре окружающей среды $t_2 = 40^\circ\text{C}$, принимая $\beta_{\text{р масла}} = 14 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$, $\beta_{\text{т масла}} = 0,001 \text{ K}^{-1}$. Определить напряжение в цилиндрической стенке бочки толщиной $\delta = 3$ мм и диаметром $D = 0,5$ м.

Если бы бочка была открытой, то в соответствии с формулой плотность масла при увеличении температуры до $t_2 = 40^\circ\text{C}$ уменьшилась бы на величину

$$\Delta\rho = \rho_0\beta_t\Delta t$$

Поскольку объём бочки и масса масла в ней не меняются, плотность масла должна остаться такой же, как до нагревания, это возможно, если давление в бочке повысится в соответствии с формулой на величину

$$\Delta p = \frac{\Delta\rho}{\rho\beta_p},$$

подставляя выражение для Δp , найдём

$$\Delta p = \frac{\beta_t\Delta t}{\beta_p} = \frac{0,03}{1,4 \cdot 10^{-9}} = 214 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Определим напряжение в стенке толщиной по продольному сечению бочки диаметром $D = 0,5$ м:

$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} = \frac{214 \cdot 10^5 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,003} = 1783 \cdot 10^5 \text{ Па} = 178,3 \text{ МПа}$$

Предел прочности (временное сопротивление) прокатной углеродистой стали не превышает 500 МПа и, как видно, бочка будет разорвана ещё в начале подогрева масла. Чтобы этого не произошло, бочку заполнять при низкой температуре нужно с запасом на свободное расширение, которое легко определяется расчетом, или заполнять бочку предварительно подогретым маслом. В последнем случае нужно помнить, что при образовании в бочке вакуума внешнее атмосферное давление, неопасное для материала бочки по условию прочности, может быть опасным по условию устойчивости её цилиндрической формы, выполнение которого также должно быть проверено.

2. Какова будет плотность воды в паровом котле при температуре $t_1 = 152^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 5$ бар, если $\beta_{\text{тв}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, $\beta_{\text{рв}} = 0,45 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Удельный объём воды при $p_0 = 10^5$ Па, $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $v_0 = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Определим удельный объем v_1 при $t_1 = 152^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении:

$$v_1 = v_0(1 + \beta_t \cdot \Delta t) = 10^{-3} \left(1 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot 152 \right) = 1,0912 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Далее определяем удельный объем v_1 нагретой воды под давлением $p_1 = 5$ бар. По формуле после интегрирования получаем:

$$\beta_{p_v} v_1 (p_1 - p_0) = -(v_1 - v_1); \quad v_1 = v_1 - \beta_{p_v} v_1 (p_1 - p_0);$$

$$v_1 = 1,0912 \cdot 10^{-3} \left[1 - 0,45 \cdot 10^{-9} (5 - 1) \cdot 10^5 \right] = 1,09102 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Плотность при $t_1 = 152^\circ\text{C}$ и $p_1 = 5$ бар

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1} = 916,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

По таблицам воды и водяного пара на кривой насыщения $v_1 = 1,0927 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$. Расхождение с v_1 , определенным в расчете, составляет 0,16%.

Эта задача может быть решена проще на основе формул:

$$\rho_2 = \rho_1 - \beta_t \rho_1 \Delta T = 10^3 \left(1 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot 152 \right) = 908,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

и

$$\rho_2 = \rho'_2 (1 + \beta_p \Delta p) = 908,8 \left(1 + 1,8 \cdot 10^{-4} \right) = 909 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

3. Чему равно относительное изменение плотности морской воды (в процентах) при вертикальном погружении на глубину $h = 300$ м. Плотность морской воды на поверхности $\rho_0 = 1030 \text{ кг/м}^3$

Для ответа на поставленный вопрос воспользуемся формулой, полагая $\beta_p = 0,45 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$.

Избыточное (над атмосферным) давление в морской воде на глубине $h = 300$ м определяется формулой

$$p_{\text{изб}h} = h \rho g = 300 \cdot 1030 \cdot 9,81 = 3031290 \text{ Па} = 30,31 \text{ бар}$$

$$\beta_p = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial p}$$

после интегрирования получаем:

$$\beta_p \Delta p = \frac{\Delta \rho}{\rho_0},$$

где $\Delta p = p_{\text{изб}h}$

Подставляем значения и вычисляем

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_0} = 0,45 \cdot 10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^5 = 13 \cdot 10^{-4} = 0,13 \%$$

4. При гидравлических испытаниях трубопровода диаметром $D = 0,5$ м и длиной $\ell = 4$ м в системе поднимают давление. Определить массу воды, которую требуется дополнительно закачать (впрессовать) в трубопровод, чтобы давление повысилось на величину $\Delta p = 2,5$ бар.

Для того чтобы давление в трубопроводе повысилось на величину Δp , необходимо, в соответствии с формулой, увеличить плотность воды на величину

$$\Delta \rho = \rho \beta_p \Delta p$$

Следовательно, в трубопровод необходимо дополнительно закачать массу

$$\Delta m = \Delta \rho V$$

где $V = \frac{\pi D^2}{4} \ell$. Таким образом,

$$\Delta m = \rho \beta_p \Delta p \frac{\pi D^2}{4} \ell = 1000 \cdot 0,45 \cdot 10^{-9} \cdot 2,5 \cdot 10^5 \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 4 = 0,0883 \text{ кг}$$

5. Определить разность давлений в точках, находящихся на осях труб А и В (рис. 1), наполненных водой, если разность уровней ртути $A = 30$ см. Разность уровней осей труб $H = 100$ см, $\rho_{рт} = 13600 \text{ кг/м}^3$.

Напишем уравнение равновесия для рассматриваемой гидравлической схемы относительно точки С. Для того чтобы точка С находилась в равновесии, необходимо, чтобы давления, действующие на неё слева и справа, были одинаковы. Слева на точку С действует давление в трубе В, давление столба воды высотой H_1 и давление столба ртути высотой h_1 . Справа на точку С действует давление в трубе А, давление столба воды высотой H_2 и давление столба ртути высотой h_2 . Следовательно, условие равновесия

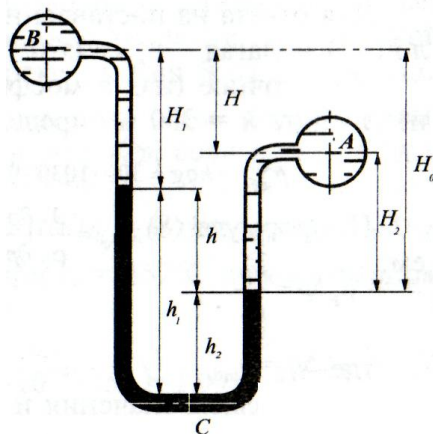


Рис. 1

$$p_B + \rho_w g H_1 + \rho_{рт} g h_1 = p_A + \rho_w g H_2 + \rho_{рт} g h_2$$

Отсюда определим разность давлений

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_v g(H_1 - H_2) + \rho_{рт} g(h_1 - h_2)$$

Как видно из рисунка 1, $H_1 = H_0 - h$, $H_2 = H_0 - H$.
Следовательно,

$$H_1 - H_2 = H - h, \quad h_1 - h_2 = h.$$

Таким образом,

$$\Delta p = \rho_v g(H - h) + \rho_{рт} gh = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,7 + 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,3 = 46844 \text{ Па}$$

6. Высота столба ртути, измеренная по дифференциальному манометру, равна $h = 50$ см. Определить разность давлений в точках А и В, если $H = 30$ см (рис. 2). Трубы заполнены водой.

По аналогии с решением предыдущей задачи напомним уравнение равновесия для точки С.

$$\begin{aligned} p_A - \rho g(H_1 + h_1 + H_3) + \rho_v gH_1 + h_1 \rho_{рт} g &= \\ = p_B - \rho g(H_1 + h_1 + H_3 - H) + \rho_v g(H_1 + h) + h_2 \rho_{рт} g \end{aligned}$$

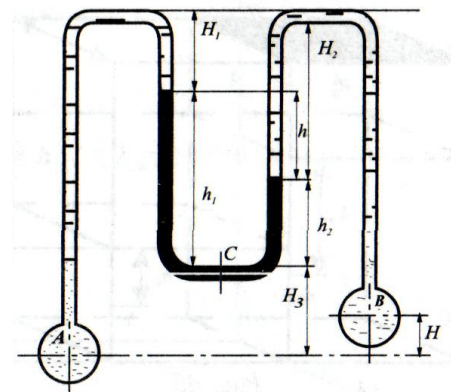


Рис. 2

Откуда

$$\Delta p = p_B - p_A = \rho_{рт} g(h_1 - h_2) - \rho_v g(H + h) = \rho_{рт} gh - \rho_v g(H + h)$$

$$\Delta p = 9,81 \cdot (13600 \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 1000) = 58800 \text{ Па}$$

7. Для указанной схемы (рис. 3) превышение точки В над А равно $H = 40$ см. Для измерения применен керосин $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$. Определить разность давления H , в трубах с водой, если $h = 100$ см.

Составляем уравнение равновесия для точки С:

$$p_A - \rho_v g(H_0 - H_2) - \rho_k gH_2 = p_B - \rho_k gH_1 - \rho$$

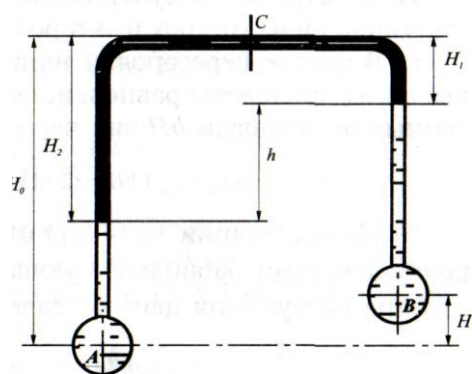


Рис. 3

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_k g(H_2 - H_1) + \rho_v g(H_1 - H_2 + H)$$

Из рисунка видно, что $H_2 - H_1 = h$, тогда

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_k gh + \rho_v g(H - h);$$

$$\Delta p = p_A - p_B = 9,81(1 \cdot 750 - 0,6 \cdot 1000) = 1470 \text{ Па}$$

8. Определить величину и точку приложения равнодействующей сил полного гидростатического давления на прямоугольную вертикальную перегородку (рис. 4). В левой части бака - вода, на свободную поверхность которой действует давление $p_0 = 2$ бар. В правой части - вода, на свободную поверхность которой действует атмосферное давление $p_a = 1$ бар. Остальные размеры: $h_1 = 6$ м, $h_2 = 3$ м, $b = 5$ м, $H = 7$ м.

Используя метод суперпозиций в статике, определим действующие силы от трех факторов раздельно.

а) В центре перегородки на высоте 3,5 м от основания на нее слева приложена равнодействующая равномерно распределенных по площади $b \cdot H$ сил перепада давления ($p_0 - p_a$)

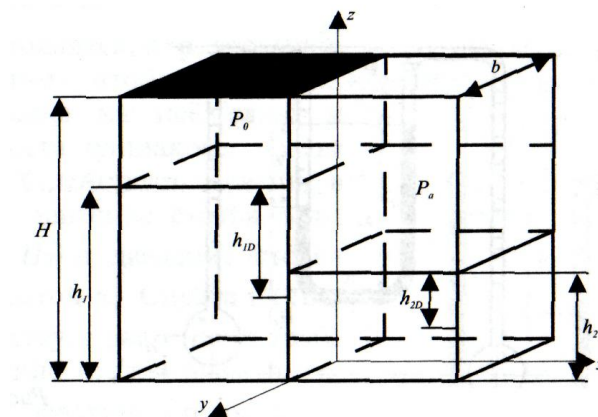


Рис. 4

$$F_{(p_0 - p_a)} = (p_0 - p_a) \cdot b \cdot H = (2 - 1) \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 7 = 35 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

б) На расстоянии $(h_1 - h_{1D})$ от основания слева на перегородку действует равнодействующая сила давления воды (h_{1D} - глубина погружения центра давления):

$$F_{h_1} = \int_0^{h_1} \rho g b z \cdot dz = \rho g b \frac{h_1^2}{2} = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot \frac{6^2}{2} = 8,82 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

в) На расстоянии $(h_2 - h_{2D})$ справа на перегородку действует равнодействующая сила давления воды (h_{2D} - глубина погружения центра давления):

$$F_{h_2} = \int_0^{h_2} \rho g b z \cdot dz = \rho g b \frac{h_2^2}{2} = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot \frac{3^2}{2} = 2,20 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Общая равнодействующая этих трех сил R ., действующих параллельно оси x , равна

сумме

$$R = F_{p_0-p_a} + F_{h_1} - F_{h_2} = 41,62 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Координата точки её приложения Z_R определится из условия равновесия (момент равнодействующей силы относительно линии нижнего основания должен быть равен сумме моментов, создаваемой каждой из сил).

$$R \cdot z_R = F_{p_0-p_a} \cdot \frac{H}{2} + F_{h_1} \cdot (h_1 - h_{1D}) - F_{h_2} \cdot (h_2 - h_{2D})$$

Расстояния h_{1D} и h_{2D} в общем случае определяются по формуле :

$$h_{1D} = \frac{h_1}{2} + \frac{J_y}{y_c \cdot S_{h_1}} = \frac{\left(\frac{bh_1^3}{12} + bh_1 \left(\frac{h_1}{2} \right)^2 \right)}{\frac{h_1}{2} bh_1} = \frac{2h_1}{3} = 4 \text{ м}$$

$$h_{2D} = \frac{h_2}{2} + \frac{J_y}{y_c \cdot S_{h_2}} = \frac{2h_2}{3} = 2 \text{ м}$$

После подстановок и вычислений находим

$$z_R = \frac{3500 \cdot 3,5 + 882 \cdot 2 - 220 \cdot 1}{4162} = 3,31 \text{ м}$$

9. Судно получило пробоину на глубине 3 м. Размер образовавшегося круглого отверстия равен 0,8 м. Определить силу избыточного давления морской воды ($\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$) на пластырь, заведенный на пробоину.

Сила избыточного давления на пластырь находится с учетом величины давления в центре пробоины, определяемого по формуле

$$F_{изб} = \rho g h_c S = 1030 \cdot 9,81 \cdot 3,0 = 15,2 \text{ кН}$$

10. Определить силу гидростатического давления воды на крышку лаза в наклонной стенке танка (рис. 5). Размеры лаза – 700×500 мм, расстояние $\ell = 2$ м, угол $\alpha = 60^\circ$. Вычислить также координату центра давления ℓ_d .

Сила избыточного гидростатического давления на стенку определяется по формуле . Координата центра тяжести крышки лаза

$$h_c = \left(\ell + \frac{h_\ell}{2} \right) \cdot \sin 60^\circ$$

тогда

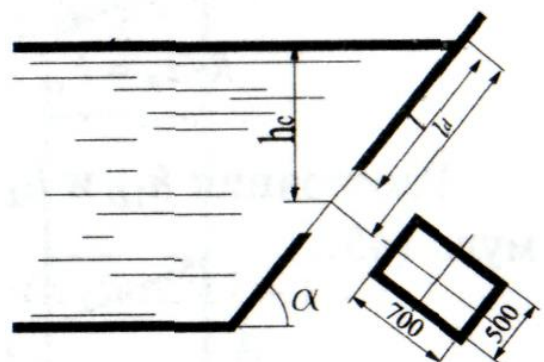


Рис.5

$$F_{\text{изб}} = \rho g \left(\ell + \frac{h_{\ell}}{2} \right) \cdot \sin 60^{\circ} \cdot S$$

По формуле найдем координату центра давления ℓ_d . Предварительно для прямоугольника

$$J_c = \frac{bh_{\ell}^3}{12},$$

где $b = 0,7\text{ м}$ – ширина лаза; h_1 – высота лаза (вдоль стенки). Тогда по формуле

$$\ell_d = \ell_c + \frac{h_{\ell}^2}{12 \cdot \ell_c} = 2,25 + \frac{0,5^2}{12 \cdot 2,25} = 2,259 \text{ м}$$

$$\ell_c = \left(\ell + \frac{h_{\ell}}{2} \right)$$

11. Определить сжимающее усилие, развиваемое гидравлическим прессом, при следующих данных: диаметр силового цилиндра пресса (рис. 6) $d_2 = 300\text{ мм}$, диаметр цилиндра плунжерного насоса $d_1 = 25\text{ мм}$, длина рычага $a = 600\text{ мм}$, длина плеча рычага $b = 150\text{ мм}$, усилие, прикладываемое к рукоятке рычага, $F_0 = 200\text{ Н}$. Силой тяжести плунжера силового цилиндра и потерями на трение пренебречь.

Сжимающее усилие, создаваемое плунжером силового цилиндра пресса:

$$F_2 = p_2 \cdot S_2 = p_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$$

Согласно закону Паскаля давление в силовом цилиндре равно давлению p , создаваемому плунжером в цилиндре насоса. Определим давление

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{4F_1}{\pi d_1^2}$$

Сила F_1 , действующая на плунжер насоса, определяется из уравнения моментов сил

$$F_0 \cdot a = F_1 \cdot b$$

Тогда давление

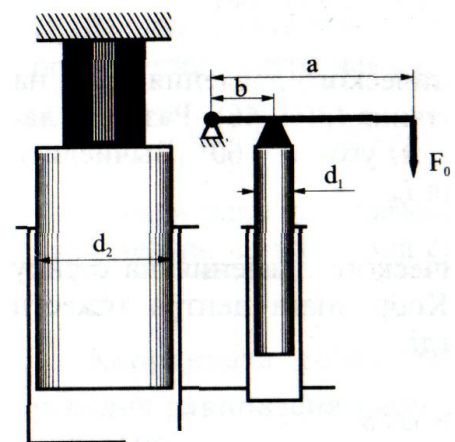


Рис. 6

$$p_1 = \frac{4F_0 a}{\pi d_1^2 b},$$

и сжимающее усилие прессы

$$F_2 = F_0 \frac{a \cdot d_2^2}{b \cdot d_1^2} = 200 \frac{0,6 \cdot 0,3^2}{0,15 \cdot 0,025^2} = 115200 \text{ Н}$$

12. Топливный танк цилиндрической формы емкостью $V = 400 \text{ м}^3$ и высотой $H = 5 \text{ м}$ заполнен топливом плотностью $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Определить силы гидростатического давления топлива на боковую стенку и дно танка.

Найдем диаметр танка

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}}$$

Сила давления топлива на боковую стенку равна силе давления на её вертикальную проекцию S_z (в данном случае на площадь диаметрального сечения) и определяются по формуле:

$$F_{\text{изб}} = \rho g H^2 \sqrt{\frac{4V}{\pi H}} = 900 \cdot 9,81 \cdot 5^2 \sqrt{\frac{400}{3,14 \cdot 5}} = 1,13 \text{ МН}$$

Сила давления на дно резервуара

$$F = \rho g V = 900 \cdot 9,81 \cdot 400 = 3,528 \text{ МН}$$

13. Определить глубину погружения h плавающего в воде деревянного конуса (рис. 7) с учетом, что $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho_d = 800 \text{ кг/м}^3$; высота конуса $h_k = 3 \text{ м}$.

Вес конуса в воздухе

$$F_{g_k} = \rho_d g V_k = \frac{1}{3} \pi r_k^2 h_k \rho_d g$$

Вес воды в объеме, равном объёму погруженной в неё части конуса (см. рис. 7)

$$F_{g_b} = \frac{1}{3} \pi r^2 h \rho_b g$$

Из рисунка видно, что

$$\frac{r_k^2}{r^2} = \frac{h_k^2}{h^2}.$$

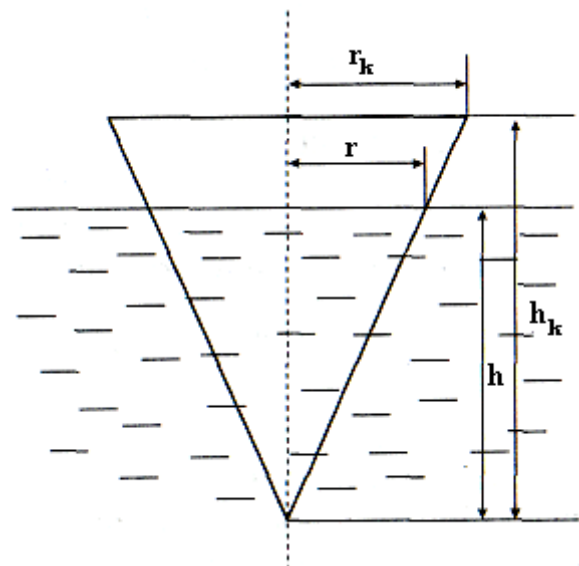


Рис. 7

Следовательно, $r_k^2 = r^2 \frac{h_k^2}{h^2}$.

После подстановки r_k^2 в формулу для $F_{гк}$, и учитывая, что по закону Архимеда $F_{гк} = F_{гв}$, получаем:

$$\rho_k g h_k^3 = \rho_v g h^3,$$

$$h = h_k \sqrt[3]{\frac{\rho_k}{\rho_v}} = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{800}{1000}} = 2,785 \text{ м}.$$

14. Определить остойчивость деревянного бруса, плавающего в море (рис. 8). Размеры бруса: длина $\ell = 6$ м; ширина $b = 0,3$ м; высота $a = 0,2$ м. Плотность дерева $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$; плотность морской воды $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$

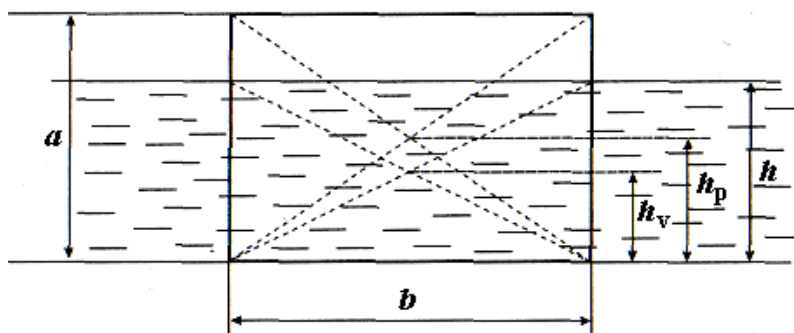


Рис. 8

Глубина погружения бруса в воду h найдется по закону Архимеда. Действительно, сила тяжести, действующая на брус

$$F_g = \rho_d g V_б = \ell \cdot b \cdot a \cdot \rho_d g$$

должна быть равна силе Архимеда

$$F_a = \rho_v g V_v = \ell \cdot b \cdot h \cdot \rho_v g,$$

где $V_б$ и V_v объем бруса и объем вытесненной воды, соответственно. Приравнивая эти силы, найдём:

$$h = \frac{a \rho_d}{\rho_v} = \frac{0,2 \cdot 750}{1000} = 0,15 \text{ м}$$

Для определения остойчивости бруса найдем:

а) положение центра объема погруженной в воду части бруса (центра величины), он находится на половине глубины погружения бруса $h/2 = 0,075$ м;

б) момент инерции J площади сечения бруса в плоскости плавания относительно её срединной продольной оси

$$J = \frac{\ell b^3}{12} = \frac{6 \cdot 0,3^3}{12} = 0,0135 \text{ м}^4$$

в) объем погруженной в воду части бруса

$$V_B = bh\ell = 0,3 \cdot 0,15 \cdot 6 = 0,27 \text{ м}^3$$

г) метацентрическую высоту

$$h_M = \frac{J}{V_B} - (h_P - h_V) = \frac{0,0135}{0,27} - (0,1 - 0,075) = 0,023 \text{ м} > 0$$

Как видно, метацентрическая высота положительна и, следовательно, положение бруса устойчиво.

15. Определить положение центра давления на крышку резервуара, если расстояние от свободной поверхности заполняющей жидкости до геометрического центра крышки $z_0 = 2\text{ м}$ при диаметре $d = 0,6\text{ м}$ (рис. 9).

Расстояние от свободной поверхности жидкости до центра давления определяется формулой

$$z_d = z_0 + \frac{J_0}{S \cdot z_0},$$

в которой момент инерции площади круга (крышки) относительно диаметра

$$J_0 = \frac{\pi d^4}{64},$$

площадь круга $S = \pi d^2/4$, таким образом

$$z_d = z_0 + \frac{d^2}{16z_0}.$$

После вычислений получаем

$$z_d = 2 + \frac{0,36^2}{16 \cdot 2} = 2,011 \text{ м}$$

Расстояние между центром круга и смещенным от него вниз центром давления 11 мм.

16. Определить режим движения моторного топлива по трубопроводу диаметром 100 мм при расходе $10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вязкость топлива 5°Е .

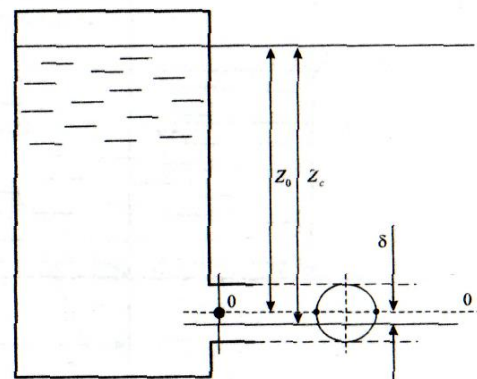


Рис. 9

Найдем кинематический коэффициент вязкости топлива по формуле пересчета:

$$\nu = \left(0,073 \cdot ^\circ\text{E} - \frac{0,063}{^\circ\text{E}} \right) \cdot 10^{-4} = \left(0,073 \cdot 5 - \frac{0,063}{5} \right) \cdot 10^{-4} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Из уравнения сплошности определим скорость движения топлива

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 3600} = 0,354 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{wd}{\nu} = \frac{0,354 \cdot 0,1}{35 \cdot 10^{-6}} = 1011$$

Полученное число Рейнольдса меньше нижнего критического ($\text{Re} < 2300$). Следовательно, режим течения топлива ламинарный.

17. Определить массовый расход горячей воды в трубопроводе диаметром 400 мм. Скорость воды 2,5 м/с, плотность 970 кг/м³.

Массовый расход найдём по формуле

$$G = \rho w S = 970 \cdot 2,5 \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 305 \text{ кг/с}$$

18. Найти, какой потребуется диаметр трубопровода в системе охлаждения главного двигателя, чтобы обеспечить расход пресной воды 500 м³/ч при скорости 1,5 м/с.

Из уравнения сплошности определяем внутренний диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3600}} = 0,35 \text{ м}$$

19. Насос подает воду по трубопроводу диаметром $d = 50$ мм на высоту 35 м с объемной производительностью $Q = 18$ м³/ч, обеспечивая избыточное давление в конце магистрали $p = 0,5$ МПа. Определить полный напор, создаваемый насосом. Потери пренебречь.

Полный напор определяется уравнением Бернулли:

$$p + \frac{\rho w^2}{2} + \rho g z = p_0$$

Определим скорость из уравнения сплошности:

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 18}{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 3600} = 2,55 \text{ м/с}$$

Тогда

$$p_0 = 0,5 \cdot 10^6 + \frac{1000 \cdot 2,55^2}{2} + 1000 \cdot 9,81 \cdot 35 = 8,63 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

20. В поток жидкости, с расходом Q_1 , и поперечным сечением S_1 , вливается другой поток той же жидкости с расходом Q_2 (рис. 10). Определить площадь живого сечения бокового притока S_1 и сечение потока после слияния S_0 , считая скорости во всех сечениях одинаковыми.

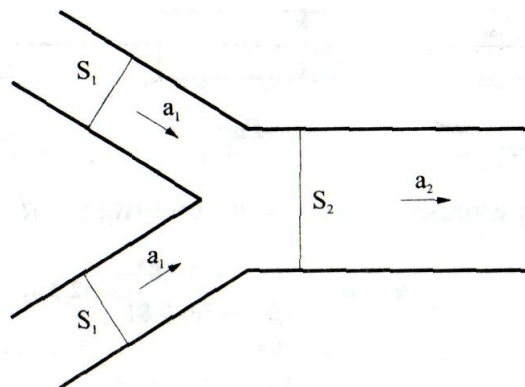


Рис.10

Выразим скорости в сечениях через расходы

$$w_1 = \frac{Q_1}{S_1}; w_2 = \frac{Q_2}{S_2}; w_0 = \frac{Q_1 + Q_2}{S_0}.$$

Так как по условию во всех сечениях скорости одинаковы, то площади сечений определяются из выражений

$$S_2 = \frac{Q_2}{Q_1} S_1; S_0 = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} S_1$$

В случае, когда площадь сечения S_0 задана, по условию сплошности, соответственно изменится скорость суммарного потока

$$w_0 = \frac{Q_1 + Q_2}{S_0}$$

21. По горизонтальной трубе переменного сечения (рис. 11) протекает жидкость плотностью $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$ и расходом $Q = 10 \text{ л/с}$. Определить пьезометрические высоты в сечениях, если $d_1 = d_3 = 100 \text{ мм}$, $d_2 = 25 \text{ мм}$, $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$. Потерями пренебречь.

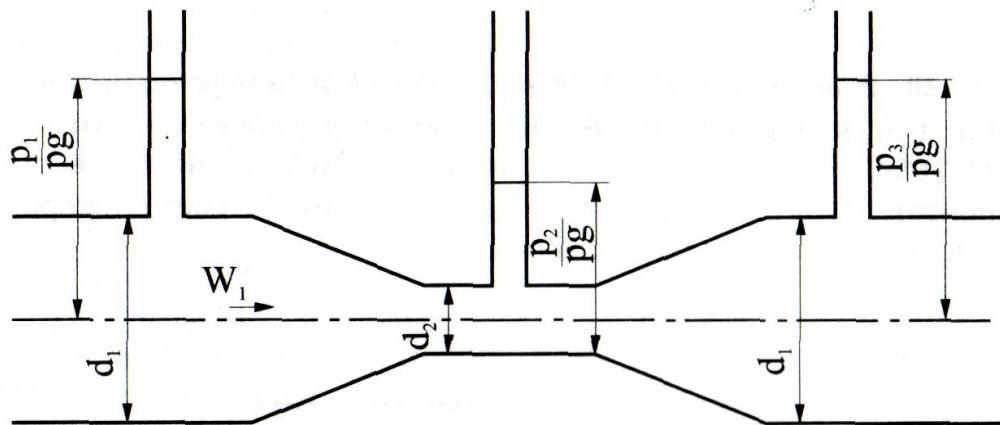


Рис. 11

Пьезометрические высоты в сечениях с d_1 и d_3 будут:

$$h_1 = h_3 = \frac{p_1}{\rho g} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{950 \cdot 9,81} = 32,2 \text{ м}$$

Для определения пьезометрической высоты в сечении диаметром d_2 напомним уравнение Бернулли для первого и второго сечений:

$$\frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2$$

Здесь $z_1 = z_2$, так как труба горизонтальна. Скорости

$$w_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}; \quad w_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}$$

Тогда искомая пьезометрическая высота во втором сечении будет:

$$h_2 = \frac{p_2}{\rho g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{w_2^2}{2g}$$

$$h_2 = \frac{8Q^2}{\pi^2 g d_1^4} - \frac{8Q^2}{\pi^2 g d_2^4} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{8Q^2}{\pi^2 g} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right) + \frac{p_1}{\rho g}.$$

$$h_2 = \frac{8 \cdot (10 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81} \left(\frac{1}{0,1^4} - \frac{1}{0,025^4} \right) + 32,2 = 11,12 \text{ м}$$

22. Из резервуара с постоянным напором $\Delta H = 6$ м (рис. 12) через трубу вытекает вода. Диаметр трубы $d_1 = 16$ см, а её наконечника $d_2 = 6$ см. Определить объемный расход воды и показать график изменения пьезометрической высоты, пренебрегая потерями напора.

С учетом отсутствия гидравлических потерь, считая скорость в резервуаре равной нулю, запишем уравнение Бернулли для сечений 0-0 и 2-2

$$\Delta H = \frac{w_2^2}{2g},$$

откуда определим скорость истечения

$$w_2 = \sqrt{2g\Delta H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6} = 10,8 \text{ м/с}$$

Объемный расход

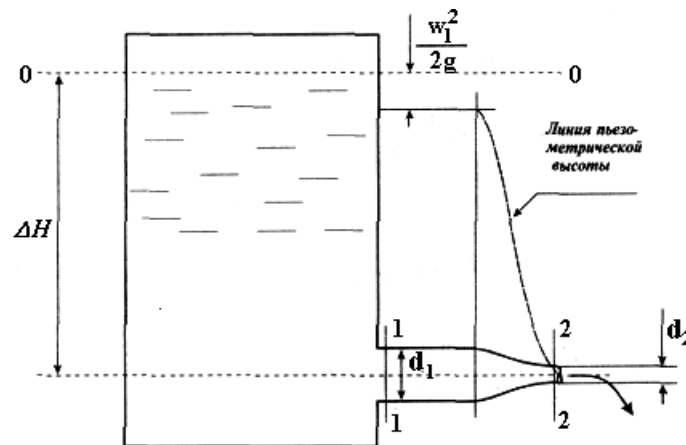


Рис. 12

$$Q = w_2 S_2 = 10,8 \frac{3,14 \cdot 0,06^2}{4} = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость в сечении 1-1:

$$w_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 0,16^2} = 1,49 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

23. Водоструйный насос работает под напором водяного столба высотой $H = 3 \text{ м}$ (рис. 13). Определить, с каким расходом он работает и какой вакуум создаётся при этом в камере a , если $h = 1 \text{ м}$; $d_1 = 10 \text{ см}$; $d_2 = 7 \text{ см}$; $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ – атмосферное давление. Гидравлические потери во всей системе водоструйного насоса не учитывать.

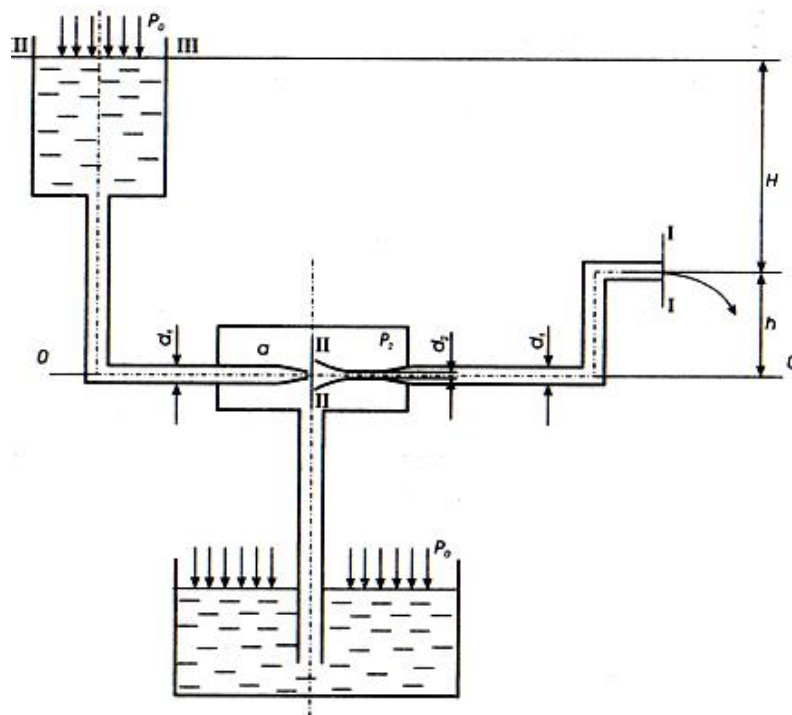


Рис. 13

Запишем уравнение Бернулли для сечений III-III и I-I

$$\frac{w_1^2}{2g} = H$$

Откуда

$$w_1 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 7,67 \text{ м/с}$$

Расход воды в сечении I-I

$$Q_1 = S_1 w_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} w_1 = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 7,67 = 0,06 \text{ м}^3/\text{с}$$

Уравнение Бернулли для сечений I-I и II-II

$$\frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} = h + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g}$$

Из него определим разрежение в камере a

$$\frac{p_0 - p_2}{\rho g} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} - h$$

Скорость воды на входе в сечение II-II определим по расходу

$$w_2 = \frac{Q_1}{S_2} = \frac{0,06 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,07^2} = 15,6 \text{ м/с}$$

Таким образом, вакуум в камере a

$$p_0 - p_2 = 1000 \cdot 9,81 \left(\frac{15,62^2 - 7,67^2}{2 \cdot 9,81} - 1 \right) = 83 \text{ кПа}$$

Абсолютное давление в камере

$$p_2 = 17 \text{ кПа}$$

24. Какой должна быть кинематическая вязкость жидкости при моделировании движения судна при условии, что длина модели в 100 раз меньше длины судна ($L_c/L_m = 100$).

Отношение скоростей судна и модели определим из условия равенства критерия Фруда:

$$Fr = \frac{w_c^2}{gL_c} = \frac{w_m^2}{gL_m}.$$

Отсюда

$$w_m = w_c \sqrt{\frac{L_m}{L_c}} = 0,1 w_c,$$

то есть скорость модели должна быть в 10 раз меньше скорости судна.

Соотношение коэффициентов кинематической вязкости установим из условия равенства критериев Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_m L_m}{\nu_m} = \frac{w_c L_c}{\nu_c}.$$

Отсюда

$$\frac{\nu_c}{\nu_m} = \frac{w_c \cdot L_c}{w_m \cdot L_m} = 1000.$$

Получается, что кинематическая вязкость жидкости, используемой при моделировании движения судна должна быть в 1000 раз меньше кинематической вязкости воды. В практике опытных бассейнов это неосуществимо.

25. Определить режим движения воды в трубе диаметром $d = 10$ см по измеренному объём-

ному расходу $Q = 10$ л/с. Коэффициент кинематической вязкости воды принять $\nu = 1,5$ мм²/с.

Определим среднюю скорость движения воды в трубе

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 0,1^2} = 1,27 \text{ м/с}$$

и число Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{1,27 \cdot 0,1}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 84666$$

При числе $Re = 84666 > 2300$ режим движения воды в трубе будет устойчиво турбулентным.

26. Конденсатор паровой турбины спроектирован состоящим из 250 трубок для потока охлаждающей воды. Для интенсификации теплообмена с поступающим из последней ступени турбины и конденсирующимся на трубках паром поток воды в трубках должен быть турбулентным. Определить максимально допустимый диаметр трубок, обеспечивающий турбулентный режим течения при общем объёмном расходе воды через все трубки ($Q = 100$ м³/ч). Коэффициент, кинематической вязкости принять равным 1 мм²/с.

Средний расход воды через одну трубку

$$Q_m = \frac{100}{250} = 0,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Средняя скорость воды в трубке

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Будем считать, что устойчиво турбулентный режим течения воды удерживается в трубках при $Re > 10^4$. Определим число Рейнольдса по средней скорости потока воды

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{4Q_m}{\pi d \nu}.$$

Допустимый диаметр определим из условия, что Re не должен быть меньше, чем 10^4

$$Re = \frac{4Q_m}{\pi d \nu} \geq 10^4.$$

Как видно, чем меньше диаметр трубки при заданном расходе воды, тем больше число Рейнольдса. Таким образом, диаметр трубки не должен быть больше чем

$$d = \frac{4Q_m}{\pi \nu Re} = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

При этом средняя скорость движения забортной (морской) воды в латунных трубках конденсаторов (и других судовых охладителей) допускается до 1м/с. Несколько более высокая скорость допускается в трубках из медно-никелевых сплавов (МНЖ-5, МНЖ-30).

27. Определить снижение пьезометрической высоты (потерю напора) на длине $\ell = 100$ м гидравлически гладкого водопровода диаметром $d = 200$ мм. Расчётный объёмный расход воды $Q = 300$ м³/ч.

Определим среднюю скорость движения воды в трубе

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 300}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 2,65 \text{ м/с}$$

Оценим режим движения жидкости ($\nu = 1$ мм²/с)

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{2,65 \cdot 0,2}{10^{-6}} = 5,3 \cdot 10^5.$$

Поскольку $Re > 10^4$, режим движения турбулентный. Для определения коэффициента трения гидравлически гладких труб используем формулу Блазиуса

$$\lambda_T = 0,316 Re^{-0,25} = 0,316 \cdot (5,3 \cdot 10^5)^{-0,25} = 0,012.$$

Снижение пьезометрической высоты на длине ℓ найдём по формуле Дарси

$$\Delta h_\ell = \lambda_T \frac{\ell \cdot w_{cp}^2}{d \cdot 2g} = 0,012 \frac{100 \cdot 2,65^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 2,15 \text{ м.в.ст.}$$

28. Определить продолжительность опорожнения цилиндрического бака с нефтью диаметром $D = 4$ м до уровня $H = 2$ м через отверстие с трубкой диаметром $d = 200$ мм (рис. 14) Коэффициент расхода принять $\mu = 0,7$. Давление в баке над свободной поверхностью атмосферное. Первоначальная высота уровня нефти в баке $H_0 = 4$ м.

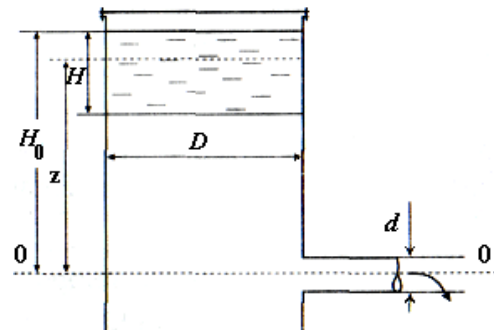


рис.14

Скорость истечения нефти в произвольный момент времени при некотором уровне z определится формулой

$$w_z = \varphi \sqrt{2gz}.$$

Объём нефти вытекающей за элементарный промежуток времени dt

$$V = Q_z dt = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gz} dt.$$

За это время уровень в баке понизится на dz и соответственно уравнение баланса объёмов

получит вид

$$\frac{\pi D^2}{4} dz = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gz} \cdot dt$$

Разделим переменные

$$dt = \frac{D^2 \cdot dz}{\mu d^2 \sqrt{2gz}}.$$

Проинтегрируем получившееся уравнение

$$\int_0^{\Delta t} dt = \frac{D^2}{\mu d^2 \sqrt{2g}} \int_{H_0}^{H_0-H} z^{-0,5} dz = \frac{D^2}{\mu d^2 \sqrt{2g}} \left| 2z^{0,5} \right|_{H_0}^{H_0-H}$$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot 16}{0,7 \cdot 0,04 \cdot 4,43} \sqrt{(2-1,41)} = 609 \text{ с} \approx 10 \text{ мин}$$

29. Определить дальность боя струи (расстояние l на рис. 15), если истечение жидкости происходит через круглое отверстие в тонкой стенке бака под напором столба воды высотой $H = 2$ м, а кромка бака, куда сливается вода, находится ниже оси отверстия ещё на 2 м ($h = 2$ м). Давление над свободной поверхностью бака атмосферное ($p_a = 105$ Па).

Ускорение частиц жидкости в вертикальном направлении равно ускорению свободного падения и, следовательно, частицы жидкости проходят расстояние h за время Δt

$$h = g \frac{\Delta t^2}{2},$$

откуда время падения частиц

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

За это время горизонтальная составляющая скорости падает от значения $w_0 = \sqrt{2gH}$ до нуля, следовательно, горизонтальная составляющая ускорения частиц

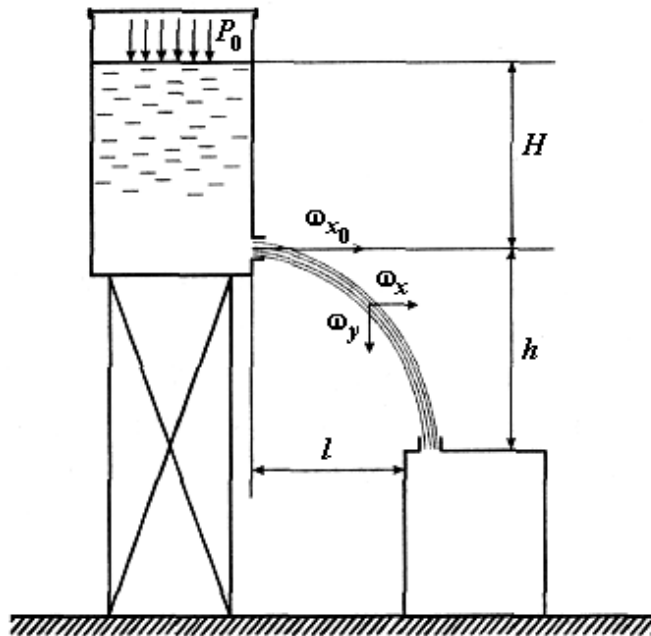


Рис.15

$$a_x = \frac{0 - w_0}{\Delta t} = -\frac{w_0}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

Горизонтальная составляющая скорости

$$w_x = w_0 + a_x t = w_0 - w_0 \sqrt{\frac{g}{2h}} t.$$

Тогда за время Δt жидкость в горизонтальном направлении проходит расстояние

$$\ell = \int_0^{\Delta t} w_x dt = w_0 \left(\Delta t - \frac{\Delta t^2}{2} \sqrt{\frac{g}{2h}} \right).$$

Подставляя выражения для Δt и w_0 , получим

$$\ell = \sqrt{H \cdot h}$$

30. Определить время Δt опорожнения полной бензиновой цистерны с внутренним диамет-

ром $D = 2$ м, длиной $\ell = 4$ м и диаметром сливного отверстия $d_0 = 60$ мм (рис. 16). Коэффициент расхода принять $\mu = 0,7$.

Скорость слива бензина

$$w = \sqrt{2gz}$$

Переменная по высоте площадь свободной поверхности бензина в цистерне

$$S = L \cdot b = 2L\sqrt{Dz - z^2}$$

Уравнение баланса изменений объема в сечениях I-I и II-II за элементарное время dt

$$\mu \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gz} dt = 2L\sqrt{Dz - z^2} dz$$

Для определения времени полного опорожнения цистерны проинтегрируем его после разделения переменных в пределах изменения z от D до нуля

$$\Delta t = \frac{8L}{\mu \pi d_0^2 \sqrt{g}} \int_D^0 \frac{\sqrt{Dz - z^2} dz}{\sqrt{z}} = \frac{8L}{\mu \pi d_0^2}$$

$$\Delta t = \frac{8 \cdot 4 \cdot 2}{0,7 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 4,43 \cdot 3} \cdot 2^{3/2} = 1722 \text{ с} \approx 29 \text{ мин}$$

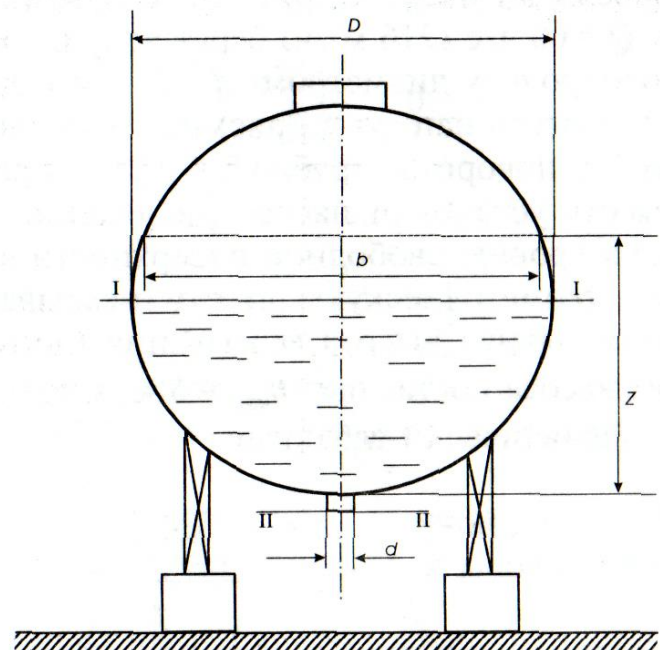


Рис.16

31. Из трёх одинаковых баков вытекает нефть с постоянным напором $H = 5$ м. Из первого бака – через круглое отверстие; из второго – через наружную цилиндрическую насадку; из третьего – через наружную конически расходящуюся насадку длиной 40 см и с углом конусности 6° . Определить объёмный расход нефти для всех трех случаев. Диаметр отверстия, цилиндрической насадки и меньший диаметр расходящейся насадки одинаковы $d = 16$ см.

Минимальная площадь сечения выходного отверстия во всех трёх случаях одинакова

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} = 0,02 \text{ м}^2.$$

Коэффициенты расхода: $\mu_{отв} = 0,6$; $\mu_{ц.н} = 0,8$; $\mu_{к.р.н} = 0,5$. Соответственно расходы из баков

$$Q_{отв} = \mu_{отв} S \sqrt{2gH} = 0,6 \cdot 0,02 \sqrt{1,9,81 \cdot 5} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с} = 120 \text{ л/с},$$

$$Q_{ц.н} = \mu_{ц.н} S \sqrt{2gH} = 0,8 \cdot 0,02 \sqrt{1 \cdot 9,81 \cdot 5} = 0,16 \text{ м}^3/\text{с} = 160 \text{ л/с},$$

$$Q_{к.р.н} = \mu_{к.р.н} S \sqrt{2gH} = 0,5 \cdot 0,02 \sqrt{1 \cdot 9,81 \cdot 5} = 0,10 \text{ м}^3/\text{с} = 100 \text{ л/с}.$$

32. Центробежный насос С (рис. 17) с объёмной производительностью $Q = 60 \text{ л/с}$ ($216 \text{ м}^3/\text{ч}$) берет воду из открытой емкости А по водопроводу диаметром $d = 25 \text{ см}$ и длиной 12 м. Коэффициенты потерь напора в приемном клапане с сеткой $\xi = 8$; в коленах (на поворотах трубы) $\xi = 0,25$. Определить максимальную высоту установки насоса (положения оси насоса) по отношению к уровню свободной поверхности воды (I-I), то есть реальную геометрическую высоту всасывания насоса ($H_{г.в.}$), если номинальная высота всасывания (допускаемое вакуумирование) насоса составляет $h_{\text{вак}} = 6 \text{ м}$. Стенки трубопровода считать гидравлически гладкими.

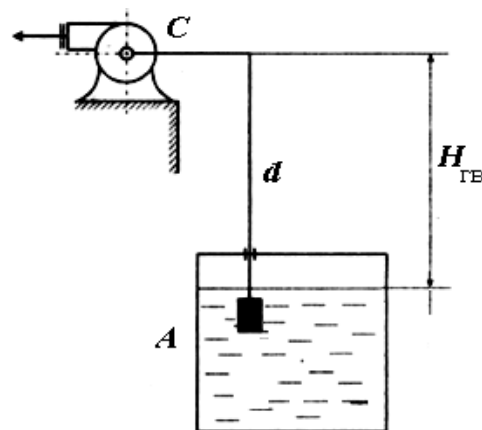


Рис.17

Определим среднюю скорость движения воды в трубе

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,25^2} = 1,22 \text{ м/с}.$$

В отсутствии гидравлических сопротивлений в трубопроводе геометрическая высота всасывания

$$h_{г.в.} = h_{\text{вак}} - \frac{w_2^2}{2g} - \sum \Delta h_{1-2}$$

$h_{\text{вак}} = 6 \text{ м}$. В соответствии с уравнением Бернулли, считая, что и $w_1 = 0$

$$h_{г.в.} = h_{\text{вак}} - \frac{w_2^2}{2g} - \sum \Delta h_{1-2}$$

где $\frac{w_2^2}{2g}$ – потеря высоты всасывания на создание скоростного напора в трубе, $\sum \Delta h_{1-2}$ – потеря

высоты всасывания на преодоление гидравлических сопротивлений по всей длине трубопровода и на местных препятствиях между сечениями I-I и II-II. Определим режим движения

$$Re = \frac{wd}{\nu} = \frac{1,22 \cdot 0,25}{10^{-6}} = 3,05 \cdot 10^5$$

Поскольку $Re > 2300$, режим движения турбулентный. Для определения коэффициента трения гидравлически гладких труб используем формулу Блазиуса

$$\lambda_T = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = 0,316 \left(3,05 \cdot 10^5 \right)^{-0,25} = 0,013.$$

Находим

$$\frac{w_2^2}{2g} = \frac{1,22^2}{2 \cdot 9,81} = 0,076 \text{ м}$$

$$\sum \Delta h_{1-2} = \left(\xi_{\text{кл}} + \xi_{\text{к}} + \lambda \frac{\ell}{d} \right) \frac{w_2^2}{2g} = \left(8 + 0,25 + 0,013 \frac{12}{0,25} \right) \cdot 0,076 = 0,67 \text{ м}$$

Действительная геометрическая высота всасывания

$$H_{\Gamma, \text{в}} = 6 - 0,076 - 0,67 = 5,25 \text{ м}$$

33. Определить расход воды через квадратное отверстие площадью $S = b \times h = 1 \times 1 \text{ м}^2$ сделанное в вертикальной стенке большого резервуара. Глубина погружения нижней горизонтальной кромки отверстия $H_2 = 2 \text{ м}$, на верхней – $H_1 = 1 \text{ м}$. Коэффициент расхода принять $\mu = 0,6$.

В случаях, когда скоростью понижения уровня свободной поверхности резервуара можно пренебречь (в связи с большой площадью свободной поверхности жидкости в резервуаре) объёмный расход жидкости при истечении можно определить по формуле

$$Q = \mu \int_{H_1}^{H_2} w b dH = \mu b \int_{H_1}^{H_2} \sqrt{2gH} dH = \frac{2}{3} \mu b (H_2^{2/3} - H_1^{2/3})$$

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot (2^{3/2} - 1^{3/2}) = 3,24 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

34. Определить напряжение в стенках водопроводной трубы диаметром $d = 10 \text{ см}$ при мгновенном закрытии крана. Толщина стенок чугунной трубы $\delta = 8 \text{ мм}$; скорость течения воды в трубе $w = 1 \text{ м/с}$. Гидростатическое давление в трубе (по манометру) при закрытом кране 5 бар.

Повышение давления при гидравлическом ударе определим по формуле

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot w.$$

Скорость распространения ударной волны a найдём по формуле Н.Е. Жуковского

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{E_v} + \frac{d}{\delta E_m} \right)}},$$

где $E_v = 2 \cdot 10^9$ Па – модуль упругости воды; $E_t = 1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль нормальной упругости чугуна; $\rho = 1000$ кг/м³ – плотность воды.

Определим

$$a = \frac{1}{\sqrt{1000 \left(\frac{1}{2 \cdot 10^9} + \frac{10}{0,8 \cdot 1 \cdot 10^{11}} \right)}} = 1260 \text{ м/с},$$

$$\Delta p = 1000 \cdot 1260 \cdot 1 = 1,26 \text{ МПа},$$

$$\sigma = \frac{(p + \Delta p)d}{2\delta} = \frac{(1,26 + 0,5) \cdot 10^6 \cdot 0,1}{2 \cdot 0,008} = 11 \text{ МПа}$$

Как видно, напряжение в трубе при жёстком гидравлическом ударе по сравнению с нормальным рабочим увеличивается примерно в 2,5 раза и становится опасным для чугунной трубы. При проектном расчёте следует рекомендовать заменить чугунную трубу стальной. Заметим, что, несмотря на вдвое большее значение модуля нормальной упругости стали по сравнению с чугуном ($E_{ст} = 2 \cdot 10^{11}$ Па), значение скорости распространения ударной волны при такой замене материала изменится мало, поскольку определяющее влияние на неё оказывает модуль упругости жидкости, примерно на два порядка меньший модуля упругости конструкционных металлов.

Приложение № 4

Контрольные вопросы к зачету по дисциплине «Основы механики жидкости и газа»

1. Предмет механики жидких сред.
2. Механика жидкости и газа как отрасль механики.
3. Краткие исторические сведения о развитии гидромеханики.
4. Физические свойства.
5. Силы, действующие в жидкости.
6. Гидростатическое давление и его свойства.
7. Основное уравнение гидростатики.
8. Силы давления на плоскую стенку.
9. Силы давления на криволинейную стенку.
10. Относительный и абсолютный покой.
11. Закон Архимеда. Условия плавания тел.
12. Методы задания движения жидкости Лагранжа и Эйлера.
13. Основные характеристики потока: поле скоростей и ускорений,
14. Линия тока, трубка тока, струя, нормальное сечение.
15. Расход и скорость движения жидкости.
16. Уравнение неразрывности идеальной и упругой жидкости.
17. Общий характер движения жидких частиц.
18. Теоремы о количестве движения и моменте количества движения для установившихся движений.
19. Давление вязкой жидкости.
20. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости.
21. Уравнения движения невязкой жидкости (уравнение Эйлера).
22. Уравнение Бернулли для идеальной и вязкой жидкости.
23. Безвихревое движение идеальной жидкости.
24. Гидравлические сопротивления, их физическая природа и классификация.
25. Ламинарное течение.
26. Турбулентное течение.
27. Структура формул для вычисления потерь энергии (напора).
28. Основная формула равномерного движения. Два режима движения жидкостей и газов.
29. Законы распределения скоростей и напряжений при турбулентном течении.
30. Классификация отверстий и истечений. Истечение жидкостей из малых отверстий при постоянном напоре.

- 31. Классификация труб и насадок. Истечение жидкости через насадки трубы при постоянном напоре.
- 32. Расчёт трубопроводных систем.
- 33. Одномерное неустановившееся движение, основное уравнение, инерционный напор.
- 34. Гидравлический удар в трубах, формулы Жуковского Н.Е.
- 35. Понятие подобия физических процессов, Теоремы теории подобия. Числа подобия.
- 36. Критерии подобия и основные правила моделирования.
- 37. Понятие пограничного слоя. Уравнение Прандтля. Отрыв пограничного слоя.
- 38. Сопротивление движению тел в жидкости.