

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ГИДРАВЛИКА И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ"
для студентов технологических специальностей
всех форм обучения

Утверждено
на заседании РИС
факультета ТБХ
Протокол № 11 от 22.11.89 г.

Киев КТИПИ 1990

Программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине "Гидравлика и гидравлические машины" для студентов технологических специальностей всех форм обучения / Сост.: Мотуз И.К., Саввова О.В. - К.: КТИП, 1990. - 32 с.

Составители: Мотуз И.К.,
Саввова О.В.

Ответственный за выпуск Малеев И.Ф.,
д-р техн.наук

Цель лабораторной работы:

1. Изучить и освоить основные гидравлические понятия, гидравлические законы и методы, необходимые для усвоения разделов специальных дисциплин, где приходится обращаться к основным законам и методам гидравлики при изучении курсов: Процессы и аппараты пищевых производств, Специальное оборудование и др.

2. Изучить и усвоить основные законы гидростатики и гидродинамики, и научиться применять их к реальным жидкостям. Пользуясь этими законами научиться рассчитывать трубопроводы, различные производственные аппараты, элементы аппаратов, в которых покоится или движется жидкость, элементы простейших гидротехнических сооружений, которые применяются в пищевой промышленности.

3. На основе знаний, полученных в гидравлике, изучить наиболее распространенные в пищевой промышленности гидравлические машины: насосы, гидравлические прессы и домкраты, компрессоры и др.

Предлагаемый к изучению курс делится на 3 раздела:

1. Гидростатика, в котором изучаются законы равновесия жидкости, находящейся в состоянии абсолютного или относительного покоя. Здесь рассматривается лишенная трения, так называемая идеальная /совершенная/ жидкость.

2. Гидродинамика и техническая гидравлика. Этот раздел изучает законы движения жидкого тела, на основании которых рассчитываются трубопроводы, гидротехнические сооружения, истечение жидкости из отверстий, насадков; истечение через водосливы и соответствующую методику их расчета.

3. Гидравлические машины. В этом разделе рассматриваются наиболее часто встречающиеся в пищевой промышленности центробежные, поршневые и ротационные насосы. Из перечисленных машин особое внимание уделяется центробежным насосам.

Для лучшего усвоения учебного материала по курсу предусматривается выполнение студентами лабораторных работ в лаборатории института, двух контрольных работ и прослушивание краткого курса лекций.

После выполнения контрольных заданий и отработки положенных лабораторных работ студент сдает зачет. Сроки выполнения всех видов учебной работы по курсу устанавливаются деканатом факультета.

При выполнении контрольных заданий необходимо:

- 1/ написать условие задачи;
- 2/ вычертить необходимую схему или рисунок /если это подразумевается условием задачи/;
- 3/ выписать условие только того варианта, который относится к исполнителю;
- 4/ указать размерность величин;
- 5/ привести сначала решение задачи в общем виде /буквенные уравнения/ с соответствующими пояснениями, а затем подставить значения соответственно рассматриваемому варианту;
- 6/ ответы на вопросы представлять с соответствующими рисунками и пояснениями.

Вариант задач выбирается по последней цифре шифра, а вопросы по двум последним цифрам в соответствии с приложением, в конце методических указаний.

ПРОГРАММА

Раздел I. ГИДРОСТАТИКА

Введение

Предмет гидравлики и гидромашин. Краткая история развития. Роль русских и зарубежных ученых в создании современной механики жидкостей и гидравлики. Значение гидравлики в современной технике.

I. Основные свойства жидкостей

Определение жидкости. Идеальная /совершенная/ и реальная жидкости. Жидкость капельная и газообразная. Удельный вес, плотность и зависимость между ними. Зависимость этих величин от температуры и давления. Относительный удельный вес и относительная плотность. Вязкость. Закон Ньютона для жидкостного трения. Коэффициенты и единицы вязкости; влияние температуры и давления на вязкость.

Методические указания

Жидкость – физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой, поэтому при воздействии даже незначительной силы она

изменяет свою форму. Жидкость занимает промежуточное место между твердым телом и газом, она способна сохранять свой объем и этим сходна с твердым телом, но не способна самостоятельно сохранять свою форму, что сближает с газом. Все жидкости при изменении давления и температуры изменяют свой объем.

- Свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу или скольжению соприкасающихся слоев называется вязкостью. Вязкость приводит к появлению сил внутреннего трения между смежными слоями жидкости, текущими с различными скоростями и определяются законом Ньютона

$$T = \mu F \frac{du}{dz} \quad \text{или} \quad \tau = \frac{T}{F} = \mu \frac{du}{dz},$$

где μ - коэффициент абсолютной /динамической вязкости/; F - площадь соприкасающихся слоев; $\frac{du}{dz}$ - градиент скорости.

С изменением температуры вязкость жидкости также будет меняться, т.е. увеличение температуры понижает вязкость и наоборот.

Пока жидкость не движется, вязкость не проявляется, поэтому при решении задач ее не следует принимать во внимание. При движении необходимо учитывать силу трения и следовательно, вязкость. Однако существуют и такие жидкости, в которых возникают силы трения уже в состоянии покоя при их стремлении прийти в движение. Такие жидкости называются не-newтоновскими или аномальными.

Вопросы для самопроверки

1. Каково различие между плотностью, удельным и относительным весом? Размерность в СИ, МКГСС и СГС.
2. Зависимость вязкости жидкости от температуры и давления.
3. Что такое вязкость жидкости? В чем суть закона вязкого трения Ньютона?
4. Взаимосвязь динамического и кинематического коэффициентов вязкости. Единицы и размерность в СИ и других системах.
5. Чем отличается идеальная /совершенная/ жидкость от реальной? В каких случаях при практических расчетах жидкость можно считать идеальной?
6. Как измеряется вязкость жидкости? Типы вискозиметров.

1. ГИДРОСТАТИКА

Давление в покоящейся жидкости. Силы, действующие на жидкость. Гидростатическое давление и его свойства. Давление абсолютное и избыточное. Вакуум. Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера.

Основное уравнение гидростатики. Поверхности равного давления. Закон Паскаля и его применение в технике. Условия равновесия жидкости в сообщающихся сосудах. Жидкостные приборы для измерения давления, разрежения, разности давлений. Относительный покой жидкости. Полная сила давления на плоские и криволинейные поверхности, погруженные в жидкость. Центр давления. Гидростатический парадокс. Эпюры гидростатического давления. Плавание тел. Закон Архимеда.

Методические указания

В гидростатике изучаются законы равновесия жидкостей, рассматриваются вопросы распределения гидростатического давления жидкости, определения значения, направления и точки приложения силы давления на плоские и криволинейные поверхности.

Основными уравнениями равновесия являются дифференциальные уравнения Эйлера. Приведенное уравнение Эйлера имеет вид:

$$d\rho = \rho(Xdx + Ydy + Zdz), \quad /1/$$

где $d\rho$ - дифференциал давления; X, Y, Z - проекции ускорения массовых /объемных/ сил на соответствующие оси.

Производные уравнения /1/:

1/ поверхности равного давления

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0; \quad /2/$$

2/ основное уравнение гидростатики /гидростатический напор/

$$z + \frac{p}{\rho g} = C = H_s, \quad /3/$$

где z - геометрический напор /высота/; $\frac{p}{\rho g}$ - пьезометрический напор.

Эта сумма является величиной постоянной для различных точек данной системы. Рассмотрев уравнение /3/ для двух точек жидкости получим:

3/ закон Паскаля - закон о передаче жидкостью внешнего давления

$$p = p_0 + \rho g h, \quad /4/$$

где p_0 - внешнее давление; h - глубина погружения точки под уровень жидкости;

4/ разницу между абсолютным, избыточным давлениями и вакуумом

$$p_{abs} = p_{at} + p_{изб}; \quad /5/$$

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{ат}} ; \quad /8/$$

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{ат}} - P_{\text{абс}} . \quad /7/$$

Силы давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности определяются аналитически. На плоскую поверхность:

$$P = \rho g h_c F, \quad /8/$$

где h_c - глубина погружения центра тяжести стенки под уровень жидкости; F - смоченная площадь стенки.

Точка приложения этой силы называется центром давления

$$h_d = h_c + \frac{J_0}{h_c F}, \quad /9/$$

где J_0 - момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести смоченной поверхности стенки.

Равнодействующая сил давления на криволинейные поверхности выражается тремя взаимно перпендикулярными составляющими P_x, P_y, P_z :

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} . \quad /10/$$

Силы P_x и P_y вычисляются как силы давления на плоские поверхности /проекции криволинейной поверхности на вертикальные плоскости/, а P_z - как вес тела давления. Центр давления определяется графически.

Покой жидкости относительно стенок сосуда, движущегося или вращающегося вместе с жидкостью, называется относительным покоем. Примером может служить движущаяся цистерна с жидкостью, сосуд с жидкостью, вращающийся вокруг вертикальной или горизонтальной осей. В этих случаях наряду с силой тяжести действуют силы инерции.

При вращении сосуда вокруг вертикальной оси свободная поверхность жидкости в нем приобретает форму параболоида, высота которого

$$h = \frac{\omega^2 R^2}{2g}, \quad /11/$$

где ω - угловая скорость; R - радиус сосуда,
Объем этого параболоида

$$V = \frac{1}{2} \pi R^2 h. \quad /12/$$

Вопросы для самопроверки

7. Что называется гидростатическим давлением и в каких единицах оно измеряется? Его основные свойства.
8. Почему при определении силы давления жидкости на поверхность чаще всего оперируют не абсолютным, а манометрическим /избыточным/ давлением или вакуумом?
9. Когда центр давления плоской фигуры совпадает с ее центром тяжести?
10. Что такое пьезометр, вакуумметр, дифманометр и что они измеряют?
11. Какие устройства конструируются на основе закона Паскаля?
12. Какие силы действуют на жидкость в случаях абсолютного и относительного покоя?
13. Какую форму принимают поверхности равного давления в случаях абсолютного и относительного покоя? Приведите примеры.

Раздел 2. ГИДРОДИНАМИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ГИДРАВЛИКА

2.1. Кинематика и динамика жидкости

Виды движения жидкости. Основные понятия кинематики жидкости: линия тока, трубка тока, элементарная струйка. Поток жидкости, средняя скорость и расход. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли для установившегося движения идеальной жидкости, его геометрическое и энергетическое толкование. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Коэффициент Кориолиса. Общие сведения о потерях напора. Виды гидравлических потерь. Трубка Пито, расходомер Вентури.

Методические указания

Одно из основных уравнений гидродинамики - уравнение постоянства расхода /уравнение неразрывности/, которое для двух сечений потока имеет вид

$$\frac{U_1}{Q_2} = \frac{F_2}{F_1}, \quad /13/$$

т.е. скорости потока обратно пропорциональны живым сечениям.

Расход жидкости Q будет $U \cdot F = const$ для различных сечений.

Основным уравнением гидродинамики является уравнение Бернулли, применяемое в гидравлических расчетах потока реальной жидкости при установившемся движении

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{d_1 U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{d_2 U_2^2}{2g} + h_w, \quad /14/$$

где $z_1; z_2$ - геометрические напоры /энергия положения/ соответственно в первом и втором сечениях; $\frac{p_1}{\rho g}; \frac{p_2}{\rho g}$ - пьезометрические напоры /потенциальная энергия давления в тех же сечениях/; $\frac{v_1^2}{2g}; \frac{v_2^2}{2g}$ - скоростные напоры /удельная кинетическая энергия/; α_1, α_2 - коэффициенты неравномерности распределения скоростей в сечениях /коэффициенты Кориолиса/, равные отношению истинной кинетической энергии к кинетической энергии, подсчитанной по средней скорости; h_w - потери напора /энергии/ на преодоление местных и гидравлических сопротивлений и сопротивлений по длине

$$h_w = h_z + h_e = \frac{v^2}{2g} \left(\sum \xi + \lambda \frac{l}{d} \right), \quad /15/$$

где $\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений; λ - коэффициент сопротивления трения по длине.

При решении практических инженерных задач уравнение неразрывности /13/ и уравнение Бернулли /14/ используются совместно. Они составляют систему из двух уравнений, позволяющих решать задачи с двумя неизвестными для установившегося движения вязкой несжимаемой жидкости. Движение жидкости между расчетными сечениями должно быть параллельно-отруйным или плавно изменяющимся.

При составлении уравнений для двух сечений необходимо руководствоваться следующими положениями:

1/ уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений, нормальных к направлению скорости. Эти сечения должны находиться на прямых участках потока;

2/ одно из расчетных сечений необходимо брать там, где требуется определить давление p , геометрический напор z или скорость v , второе - где z , p и v известны;

3/ нумеровать расчетные сечения следует так, чтобы жидкость двигалась от первого сечения ко второму. В противном случае меняется знак потерь напора h_w ;

4/ плоскость сравнения должна быть горизонтальной. Положение центра тяжести живого сечения z выше плоскости сравнения считается положительным, а ниже - отрицательным;

5/ если в уравнении Бернулли есть ряд неизвестных скоростей, то к нему дополнительно дописывают столько уравнений неразрывности, сколько существует неизвестных скоростей. После этого все скорости выражают через одну скорость, которую рассчитывают по уравнению Бернулли.

Вопросы для самопроверки

14. Дайте определение и приведите примеры основных видов движения жидкости: установившегося и неустановившегося, напорного и безнапорного, равномерного и неравномерного.
15. Что такое линия тока, трубка тока и элементарная струйка?
16. При каких условиях сохраняется постоянство расхода вдоль потока?
17. Физический и геометрический смысл гидравлического и пьезометрического уклонов. Могут ли они быть отрицательными?
18. Ограничения в применении уравнения Бернулли.
19. К каким выражениям приводится уравнение Бернулли в случаях:
а/ неподвижной жидкости;
б/ равномерного движения в горизонтальном трубопроводе;
в/ истечения жидкости из сосуда через круглое небольшое отверстие;
20. Причины возникновения потерь напора при движении вязкой жидкости. Дайте определение понятию "гидравлические потери напора".

2.2. Режимы движения жидкости и основы гидродинамического подобия

Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Опыт Рейнольдса. Числа Рейнольдса. Основы теории гидродинамического подобия и критерии подобия.

Методические указания

При определении потерь напора при движении жидкости в трубопроводе нужно знать режим движения - ламинарный или турбулентный.

Наличие определенного режима обуславливается соотношением трех факторов: скорости v , диаметра трубопровода d и кинематического коэффициента вязкости ν , выраженных критерием Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad /16/$$

В гидравлике широко применяется метод моделирования, когда исследуется не само явление или установка, а их модель обычно меньших размеров. Основой моделирования является теория гидродинамического подобия.

Для установившегося движения однородных несжимаемых жидкостей необходимым и достаточным условием гидродинамического подобия является геометрическое, кинематическое и материальное подобие потоков.

Ньютон предложил рассматривать динамическое подобие как отношение сил, действующих в сходственных точках подобных систем в сходственные моменты времени, т.е.

$$Ne = \frac{\rho v^2}{\mu U^2} \cdot \quad /17/$$

Критерий $Ne/17/$ выражает зависимость между силами, массами, скоростями и линейными размерами динамически подобных систем.

В каждом отдельном случае в динамических подобных системах действует одна из трех сил: тяжести G , давления PF и трения T . Если эти силы подставлять поочередно в уравнение $/17/$ вместо ρ , получим в первом случае критерий Фруда, во втором - Эйлера, в третьем - Рейнольдса.

Особое внимание следует обратить на критерий Рейнольдса. Он представляет собой отношение сил инерции к силам трения. Многие величины, характеризующие движение жидкости, могут быть представлены как функции Re .

Вопросы для самопроверки

21. Чем отличается структура потока при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости в трубах?

22. Как определить числа Рейнольдса для трубопроводов круглого и некруглого сечений?

23. Что называется критической скоростью?

24. Влияет ли температура жидкости на критическую скорость?

25. Принципы геометрического, кинематического и материального подобия потоков.

26. Какие силы преобладают в потоке, если моделирование производится по равенству чисел Рейнольдса, чисел Эйлера и чисел Фруда?

2.3. Ламинарное движение жидкости

Распределение скоростей по сечению круглой трубы /закон Стокса/. Определение расхода и средней скорости в круглой трубе /формула Пуазейля/. Потери напора по длине трубы. Коэффициент сопротивления трения.

Методические указания

При ламинарном потоке частицы жидкости движутся параллельно оси трубы без перемешивания. В таком потоке касательные напряжения подчиняются закону Ньютона. Здесь силы трения больше сил инерции.

Потери напора на трение по длине трубы

$$h_e = \frac{64}{Re} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad /18/$$

где $\lambda = \frac{64}{Re}$ - коэффициент сопротивления трения по длине; l, d - соответственно длина и диаметр трубопровода; v - скорость движения жидкости в трубе.

Распределение скоростей происходит по параболическому закону, а средняя скорость равна половине максимальной.

Вопросы для самопроверки

27. Как распределяются касательные напряжения в трубопроводе?
28. Изобразить эпюру скоростей в цилиндрическом трубопроводе и доказать соотношение между средней и максимальной скоростями.
29. Как определяется расход жидкости через цилиндрический трубопровод?
30. От каких параметров зависит коэффициент сопротивления трения по длине?
31. Как объяснить, что при ламинарном движении потери напора по длине пропорциональны первой степени скорости?

2.4. Турбулентное движение

Структура турбулентного потока. Пульсация скоростей. Распределение скоростей в живом сечении потока. Вязкий подслои. Потери напора в трубах. Формула Дарси и коэффициент потерь на трение по длине. Шероховатость стенок абсолютная и относительная. Графини Якурадзе и Мурина. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. Формулы для определения коэффициента Дарси и область их применения.

Методические указания

Турбулентный поток характеризуется хаотическим перемещением частиц жидкости.

Структура потока в сечении не однородна. У стенок трубы существует вязкий подслои, в котором действуют силы вязкого трения, подчиняющиеся закону Ньютона. В ядре турбулентного потока в основном проявляются силы инерции, а силы вязкого трения стремятся к нулю ($\frac{dv}{dr} \rightarrow 0$).

Потери напора по длине трубопровода определяются формулой Дарси

$$h_e = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad /19/$$

Здесь коэффициент сопротивления зависит как от режима движения (Re), так и от относительной шероховатости $\frac{\Delta}{D} = \bar{\Delta} / D$ - абсолютная шероховатость/, т.е. $\lambda = f(Re; \bar{\Delta})$.

Формулы для подсчета λ при турбулентном режиме движения

Если движение происходит в гидравлически гладких трубах ($Re \leq \frac{2300}{\bar{\Delta}}$), то можно применять формулы:

$$1/ \text{ Блазиуса} \quad \lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}; \quad /20/$$

$$2/ \text{ Коэнкова} \quad \lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}; \quad /21/$$

Примечание. Формула /20/ применяется при значениях $Re < 10^5$.
При движении жидкости в шероховатых трубах ($\frac{230}{\bar{\Delta}} \leq Re \leq \frac{600}{\bar{\Delta}}$)

используют формулы:

$$1/ \text{ Альтшуля} \quad \lambda = 0,11(\bar{\Delta} + 68/Re)^{0,25}; \quad /22/$$

$$2/ \text{ Френкеля} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\bar{\Delta}}{37} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right].$$

Эта зона сопротивления труб называется докватричной.

В квадратичной зоне сопротивления ($Re > \frac{500}{\bar{\Delta}}$) используют формулу Шифрансона

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta})^{0,25}. \quad /23/$$

Формула /22/ является универсальной, при $Re < \frac{20}{\bar{\Delta}}$ она превращается в формулу /20/, а при $Re > \frac{500}{\bar{\Delta}}$ - в формулу /23/

Вопросы для самопроверки

32. Характерные особенности турбулентного движения жидкости в трубах.

33. Объясните понятия "гидравлически гладкие" и "шероховатые" трубы.

34. Может ли одна и та же труба быть "гидравлически гладкой" и шероховатой?*

35. Объясните зоны сопротивления на графике Никурадзе.

36. Как распределяются скорости при турбулентном режиме движения? Соотношение между средней и максимальной скоростями.

37. Как рассчитывают/определяют/ зоны гидравлического сопротивления и какие применяют формулы для подсчета λ ?

2.5. Местные гидравлические сопротивления

Основные виды местных сопротивлений. Коэффициент местных сопротивлений. Внезапное расширение струи /теорема Борда/. Местные потери напора при больших и малых числах Рейнольдса. Эквивалентные длины труб.

Методические указания

Местными называются гидравлические сопротивления, в которых поток жидкости изменяет направление движения или форму сечения. При этом теряется энергия, которая определяется зависимостью

$$h_z = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad /24/$$

где ξ - коэффициент местного сопротивления; v - скорость движения жидкости в сечении, как правило, за местным сопротивлением.

Коэффициенты местных сопротивлений определяются экспериментально. Исключением является внезапное расширение трубопровода, потеря напора в котором определены аналитически Бордом /с некоторыми допущениями/

$$h_{\text{вн.р.}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}. \quad /25/$$

Вопросы для самопроверки

38. Когда при движении жидкости возникают местные потери напора?
39. Меняется ли ξ в зависимости от режима движения жидкости?
40. По какой формуле рассчитываются местные потери?
41. Как определяются ξ ?
42. В каких случаях в гидросистемах следует определять каждое местное сопротивление в отдельности?
42. Как определяются потери напора при внезапном расширении струи?

2.6. Гидравлический расчет трубопроводов

Основное расчетное уравнение простого трубопровода. Понятие об определении экономически наиболее выгодного диаметра трубопровода. Силовой трубопровод. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов. Сложные трубопроводы.

Методические указания

При расчете напорных трубопроводов используют уравнение неразрывности /13/ и уравнение Бернулли /14/. Если скорости в трубопроводе незначительны, то скоростной напор по сравнению с остальными членами

уравнения Бернулли настолько мал, что его можно не учитывать, а гидравлические потери равны разности показаний пьезометров. В этом случае весь напор тратится на преодоление гидравлических сопротивлений, т.е. $H = \sum h_w$ /напор преодолеваемый и напор потерянный одинаковы/.

В зависимости от гидравлической схемы работы и методов гидравлического расчета различают трубопроводы короткие и длинные, простые и сложные, разветвленные и замкнутые, с транзитным и путевым расходом жидкости. Следует уяснить отличие перечисленных типов трубопроводов и особенности их гидравлических расчетов. Все случаи расчета простых трубопроводов сводятся к трем типовым задачам по определению: 1/ расхода; 2/ напора; 3/ диаметра трубопровода.

При расчете сложных трубопроводов составляют систему уравнений, которая устанавливает связь между размерами труб, расходами жидкости и напорами. Эта система состоит из уравнений баланса расходов для каждого узла и уравнений баланса напоров /уравнений Бернулли/ для каждой ветви трубопровода.

Вопросы для самопроверки

43. Какие трубопроводы называются короткими и длинными, простыми и сложными? В чем особенности их расчета?

44. Изложите методику трех типовых задач расчета простого трубопровода.

45. Особенности расчета трубопроводов с параллельным соединением труб.

46. Что такое сифон? Особенности его гидравлического расчета.

47. Особенности расчета трубопроводов с насосной подачей жидкости.

48. Как рассчитать трубопровод при напорном движении методом Шези Павловского?

49. Табличный метод расчета трубопроводов.

50. Как рассчитываются трубопроводы с путевым и смешанным расходом?

2.7. Неустановившееся движение жидкости

Неустановившееся движение несжимаемой жидкости в жестких трубах с учетом инерционного напора. Явление гидравлического удара. Формула Жуковского для прямого удара. Понятие о непрямом ударе. Способы ослабления гидравлического удара.

Методические указания

Расчет трубопроводов ведется по уравнению Бернулли для установившегося движения с дополнительным /инерционным/ членом, выражающим потерю напора на преодоление силы локальной инерции. Такие случаи встречаются:

а/ при расчете всасывающей линии поршневого насоса с неравномерной подачей жидкости;

б/ при опорожнении резервуара с внезапным открытием крана.

Особое место в гидравлике занимает задача о гидравлическом ударе в трубах. Она отличается от большинства задач тем, что при ее решении нельзя пренебречь упругостью жидкости. Суть этого явления заключается в том, что при внезапном изменении скорости потока в напорном трубопроводе резко изменяется давление. Изменение давления зависит от соотношения t/T , где t - время изменения скорости /открытия или закрытия крана/, а T - фаза гидравлического удара

$$T = \frac{2L}{C}, \quad /26/$$

где L - длина трубопровода; C - скорость распространения ударной волны.

Если $t < T$, то получается прямой гидравлический удар, а при $t > T$ - не прямой.

Ударное давление определяют по формуле Жуковского для прямого удара

$$P_{uz} = P + \rho C v, \quad /27/$$

где P - начальное давление; ρ - плотность жидкости; C - скорость распространения ударной волны; v - средняя скорость движения жидкости.

Для непрямого удара применяют специальные формулы. Гидравлический удар приводит к разрушению трубопроводов и запорных приспособлений. Для его предотвращения необходимо увеличить продолжительность открытия или закрытия запорных приспособлений, установить специальные приспособления на трубопроводах.

Вопросы для самопроверки

51. Чем отличается неустановившееся движение от установившегося?
52. Что называется гидравлическим ударом в трубах?
53. Что такое фаза гидравлического удара? Ее роль в расчете ударного давления.

54. Как определять скорость распространения ударной волны?
 55. Что такое гидравлический таран? Принцип его работы.
 56. Способы предотвращения или снижения ударного давления.

3.8. Взаимодействие потока со стенками

Воздействие струи на твердые преграды. Силы воздействия потока на стенки.

Методические указания

В трубопроводах, технологических аппаратах и гидравлических машинах наблюдается силовое взаимодействие потоков жидкости с твердыми телами и стенками, ограничивающими поток.

Силу давления струи на преграду можно определить из теоремы об изменении количества движений. Мерой действия силы является кинетическая энергия массы жидкости $\frac{m v^2}{2}$ и количества движения данной массы mv .

Вопросы для самопроверки

57. Активное и реактивное действие струи.
 58. Чему равна реактивная сила взаимодействия между струей и твердым телом?
 59. Чему равно активное давление струи на плоскую и ковшеобразную стенку?

2.9. Истечение жидкости через отверстия, насадки и водосливы

Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. Коэффициенты сжатия, скорости расхода, сопротивления. Истечение жидкости через цилиндрический насадок. Насадки различного типа. Водосливы. Расход жидкости. Коэффициенты расхода.

Методические указания

Тонкой называется стенка, имеющая у отверстия острую кромку. К тонким относятся стенки толщиной $S < 0,2d$ при круглых отверстиях/.
 Насадок - короткий патрубок, длина которого $3,0d < L < 7d$ /круглое сечение/.

Расход жидкости через отверстия и насадки

$$Q = \mu F_{omb} \sqrt{2gh}$$

/28/

где μ - коэффициент расхода; $F_{отс}$ - площадь отверстия; h - напор над центром тяжести отверстия.

Скорость истечения

$$v = \varphi \sqrt{2gk^2}$$

/29/

где φ - коэффициент скорости

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\xi}}$$

ξ - коэффициент сопротивления отверстия.

При истечении с переменным напором определяется время опорожнения резервуара.

Водосливом называется гидротехническое сооружение, установленное поперек движения потока жидкости. Их используют в промышленности как регуляторы уровня и для определения расхода жидкости в водовозах.

Вопросы для самопроверки

60. Какие отверстия называются малыми, а какие большими?
61. Почему поперечное сечение струи в сжатом сечении меньше поперечного сечения отверстия?
62. Какие могут наблюдаться случаи сжатия струи?
63. Физический смысл коэффициентов сжатия, расхода и скорости?
64. Что называется насадком? Чем отличается насадок от короткого трубопровода?
65. Почему коэффициенты скорости и расхода насадки не равны единице?
66. Доказать наличие вакуума в насадке.
67. Как определяется расход жидкости через водослив?

2.10. Течение жидкости в открытых руслах и каналах

Равномерное движение жидкости в открытом канале или русле. Скорость движения. Формула Шези. Расход жидкости. Понятие о гидравлически наиболее выгодном сечении канала.

Методические указания

Основой расчета является определение расхода Q при заданном уклоне i , или определение уклона, который должен обеспечить заданный расход. Расход жидкости определяется законом неразрывности, в котором скорость движения рассчитывается по формуле Шези. Определяющей величиной при определении скорости служат гидравлический радиус R .

Вопросы для самопроверки

68. Как определяется скорость и расход жидкости в открытых руслах и каналах?
69. Как определить гидравлический уклон канала?
70. Каково соотношение глубины и ширины канала прямоугольного сечения?

Раздел 9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

3.1. Общие сведения о гидромашинах

Насосы и турбины. Классификация насосов. Принцип действия центробежных и поршневых насосов. Основные параметры насосов: подача, напор, мощность и КПД.

Методические указания

Гидравлическими машинами называются устройства, которые служат для преобразования механической энергии двигателя в энергию перемещаемой жидкости /насосы/ и для преобразования энергии потока жидкости в механическую /турбины/.

Все типы насосов по принципу действия делятся на две группы: центробежные /динамические/ и объемные /поршневые, ротационные/.

Насосы характеризуются такими параметрами как подача, напор, потребляемая мощность и КПД.

Подача - это объемное количество жидкости, подаваемое насосом в единицу времени в нагнетательный трубопровод.

Напор - работа, совершаемая насосом по перемещению единицы массы жидкости, выражается обычно в метрах столба жидкости.

$$H = z_1 + z_2 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h'_m + h''_m, \quad /30/$$

где z_1, z_2 - высота соответственно всасывания и нагнетания; P_1, P_2 - давление соответственно в начале всасывающей и в конце нагнетательной трубы; h'_m, h''_m - потеря напора соответственно во всасывающей и нагнетательной трубах.

Мощность - количество затраченной энергии на подъем и перемещение жидкости.

КПД - отношение полезной мощности ко всей затраченной.

Вопросы для самопроверки

71. Как подсчитать мощность, потребляемую насосом?
72. Физический смысл объемного, гидравлического и механического КПД насоса?
73. Как определять общий КПД насоса?
74. Как определить напор насоса по показаниям приборов?

3.2. Центробежные насосы

Схема одноступенчатого насоса. Уравнение Эйлера. Теоретический напор насоса. Потери энергии в насосе. Зависимость теоретического напора от формы лопастей. Характеристики теоретические и действительные. Коэффициент быстрогоходности. Применение формул подобия для пересчета характеристик насоса. Работа насоса на трубопровод. Рабочая точка. Регулирование подачи. Совместная работа насосов на трубопровод. Осевое давление. Кавитация. Высота установки насоса.

Методические указания

Работа центробежного насоса основана на силовом воздействии лопастей на жидкость. Движение частиц жидкости в рабочем колесе является сложным, поскольку само колесо вращается и жидкость движется по его межлопастным каналам. Сумма этих двух движений дает абсолютное движение частиц жидкости по отношению к неподвижному корпусу насоса.

Созданная Эйлером приближенная струйная теория лопастных машин до настоящего времени является основой их расчета. На основе этой теории получен теоретический напор насоса. Для определения последнего напора /действительного/ вводятся поправки на конечное число лопастей k и на гидравлические потери σ_r :

$$H = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} k \cdot \sigma_r, \quad /31/$$

где U_2 , C_2 - соответственно окружная и абсолютная скорости жидкости при выходе из рабочего колеса; α_2 - угол между абсолютной и окружной скоростями при выходе; g - ускорение свободного падения.

Различают характеристики теоретические и действительные: теоретические получают в результате основного уравнения лопастных насосов; а их действительные характеристики - только в процессе испытаний насосов зависимости напора, мощности и КПД от подачи при постоянной частоте вращения.

При меняющейся частоте вращения, в соответствии с теорией подобия, меняются характеристики насосов согласно закону пропорциональности:

$$Q = k_1 n;$$

$$H = k_2 n^2;$$

$$N = k_3 n^3,$$

/32/

где k_1, k_2, k_3 - коэффициенты пропорциональности; n - частота вращения.

При работе на трубопровод насосы имеют максимальную подачу при полностью открытой задвижке на нагнетательном патрубке, которая определяется рабочей точкой; ее находят пересечением характеристик $Q-H$ насоса и $Q-H$ трубопровода.

Необходимо знать, какими способами можно отрегулировать подачу насоса, в каких случаях два совершенно одинаковых насоса включают в работу параллельно на один трубопровод, а в каких - последовательно.

Отрицательное влияние на работу центробежных насосов оказывает кавитация, возникающая в результате снижения давления при входе жидкости в насос ниже давления парообразования. Снижение давления влечет за собой неправильная высота установки насоса над уровнем жидкости.

Вопросы для самопроверки

75. Начертить схему и объяснить принцип работы центробежного насоса.

76. Приведите треугольники скоростей на входе в рабочее колесо и на выходе из него. Поясните их.

77. Составить уравнение теоретического напора и объяснить его.

78. В чем заключается физический смысл законов подобия насосов и для каких целей они применяются?

79. Составить характеристику трубопровода и определить рабочую точку.

80. Как определить рабочую точку при работе двух насосов на один трубопровод? Привести соответствующие графики.

81. Что такое осевое давление в насосе? Как оно возникает?

82. Физическая суть явления кавитации.

83. Описать способы регулирования подачи насосов.

84. В чем отличие действительных характеристик от теоретических?

3.8. Поршневые насосы

Поршневой и плунжерный насосы. Классификация. Область применения. Формулы подач. Диаграммы подач. Степень неравномерности подач. Закон движения поршня. Воздушные колпаки.

Методические указания

Поршневой насос – гидравлическая машина, в которой происходит преобразование энергии механической в энергию перемещаемой жидкости за счет движения поршня в цилиндре. Насосы классифицируются по кратности действия, конструкции поршня, расположению цилиндров, способу срабатывания поршня с двигателем.

Студент должен знать принцип работы насосов различной кратности действия и написать формулу подачи для каждого насоса.

Подача поршневых насосов пропорциональна их размерам и скорости движения поршня. Напор не связан с подачей и зависит только от сопротивлений.

Одна из основных особенностей поршневых насосов – неравномерная подача жидкости во времени из-за меняющейся скорости поршня в цилиндре.

Для создания равномерной подачи на всасывания и нагнетания применяют воздушные колпаки, устанавливаемые как можно ближе к насосу. В этом случае движение жидкости во всасывающем трубопроводе до колпака и в нагнетательном после колпака будет установившимся.

Вопросы для самопроверки

85. Приведите схемы поршневых насосов различной кратности действия и опишите принцип их работы.

86. От чего зависит подача насосов? Напишите формулы подач насосов различной кратности и поясните их.

87. Поясните диаграммы подач насосов однократного и двойного действия и напишите степени неравномерности подачи.

88. Что такое степень неравномерности подачи?

89. Поясните диаграммы подач насосов тройного, четверного действия. Какал у них степень неравномерности подачи?

90. Устройство и принцип работы воздушного колпака. Опишите его.

Контрольная работа № 1

1. Абсолютная вязкость жидкости μ , а относительная ее плотность δ . Определить кинематическую вязкость, плотность и удельный вес жидкости в системах МКГСС и СИ.

Данные к задаче выбрать соответственно специальности по таблице.

Специальность	Жидкость	Относительная плотность δ	Динамическая вязкость μ , Па·с
ТС /1003/	Сахарный раствор $t = 20^\circ$, СВ = 50%	1,230	$1,12 \cdot 10^{-2}$
ТХ /1002/	Масло подсолнечное	0,925	$5,50 \cdot 10^{-3}$
ТБ /1004/	Пиво	1,046	$1,79 \cdot 10^{-2}$
	Спирт этиловый	0,971	$1,19 \cdot 10^{-3}$
ТМО /1017/	Молоко цельное	1,033	$1,79 \cdot 10^{-3}$
ТМА /1009/	Жир говяжий /60°/	0,886	$1,96 \cdot 10^{-2}$

2. Цилиндрический сосуд диаметром D и высотой H , наполненный на $2/3$ высоты водой, вращается вокруг вертикальной оси. Определить максимальную частоту вращения сосуда, при которой вода не выливается из него /рис.1/. Составить уравнение свободной поверхности жидкости.

Данные к задаче приведены в таблице.

Показатели, м	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H	1,2	1,3	1,1	1,5	1,8	2,0	2,1	1,9	1,7	1,0
D	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	0,4

3. Сосуд A и U -образные трубки заполнены водой в частях B и C и ртутью - в частях D и E /рис.2/. Определить показание манометра. Плотность ртути $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$, воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Данные к задаче приведены в таблице.

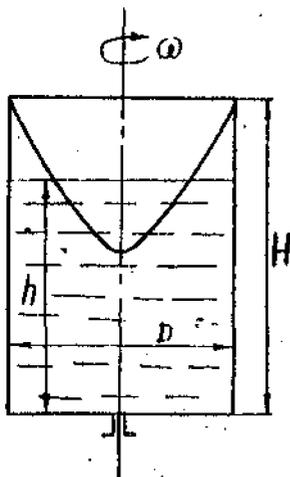


Рис.1.

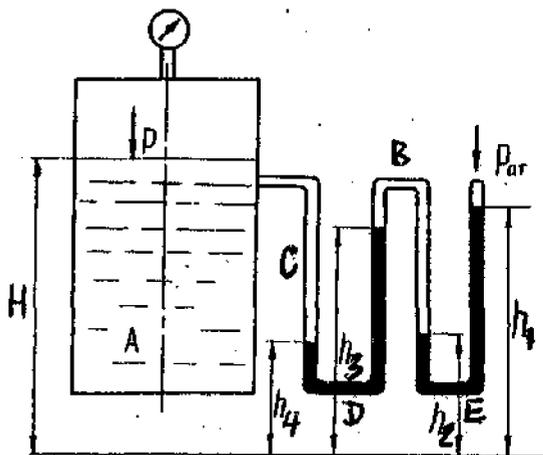


Рис.2.

Высота, м	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_1	2,8	1,6	1,9	2,0	2,5	2,3	1,7	2,4	1,8	2,1
h_2	2,0	1,3	1,6	1,5	1,9	1,9	1,4	2,0	1,7	1,8
h_3	1,7	2,3	1,9	1,6	1,9	1,6	1,8	2,1	1,6	1,9
h_4	1,5	1,9	1,6	1,4	1,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,2
H	6,0	5,5	7,0	8,0	9,0	10,0	9,0	8,0	7,5	8,4

4. Круглое отверстие радиусом R в боковой вертикальной стенке закрытого резервуара закрыто крышкой и определите силу давления воды на крышку и точку ее приложения, если расстояние от поверхности воды до отверстия H , а избыточное давление на свободной поверхности P /рис.3/.

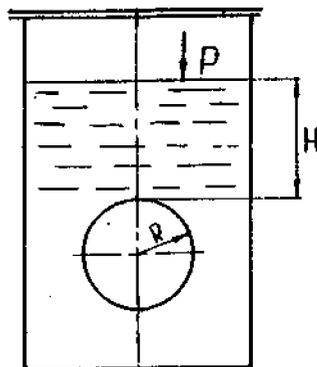


Рис.3.

Величины	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R , м	0,2	0,4	0,8	0,9	0,4	0,5	0,7	0,6	0,8	1,0
H , м	1,8	2,0	4,0	3,6	5,0	4,9	5,5	5,2	6,0	9,0
P , кПа	0	50	40	100	0	30	50	100	50	0

5. Определить силу гидростатического давления воды на вальцевый затвор шириной B и диаметром D . Найти положение центра давления и угол, под которым равнодействующая проходит через него /рис.4/.

Данные к задаче приведены в таблице.

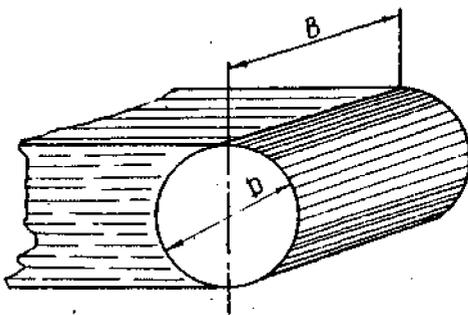


Рис.4.

Значение величин, м	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>B</i>	2,0	1,8	1,0	1,6	0,8	0,9	0,7	0,6	0,8	1,4
<i>D</i>	1,6	1,3	0,8	1,0	0,4	0,5	0,7	0,5	1,0	1,2

Контрольная работа № 2

1. Из большого резервуара, в котором поддерживается постоянный уровень H , по трубопроводу движется жидкость /вода/ и вытекает в атмосферу в количестве Q с температурой t °С /рис.5/. На расстоянии $l_1 + l_2$ от начала трубопровода установлен вентиль. Определить напор H и построить график распределения напора в системе.
 Данные к задаче приведены в таблице.

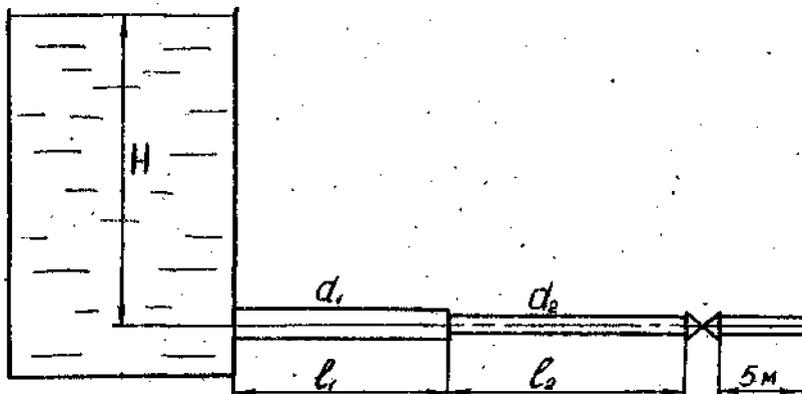


Рис.5.

Показатели	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , л/с	6	45	8	30	9	15	40	20	22	35
d_1 , м	0,075	0,2	0,1	0,15	0,075	0,1	0,15	0,15	0,125	0,15
d_2 , м	0,05	0,125	0,05	0,1	0,05	0,075	0,12	0,09	0,1	0,1
h , м	20	70	25	40	20	30	35	40	60	35
h_2 , м	15	60	10	12	9	18	25	19	20	22
t , °C	25	30	35	20	16	18	26	30	40	35
Состояние труб	Новые стальные цельнотянутые	Стальные о/у	Новые стальные зацельно-сварные	Стальные зацельно-сварные	Стальные новые	Стальные о/у	Стальные очищенные	Стальные цельно-сварные о/у	Стальные зацельно-сварные	Стальные со значительными отложениями

Примечание: о/у - трубы, бывшие в эксплуатации. При решении задачи использовать уравнение Д.Бернулли.

2. Определить время опорожнения резервуара диаметром D от уровня h_1 до h_2 через отверстие в дне диаметром d /рис.6/.

Данные для решения задачи приведены в таблице.

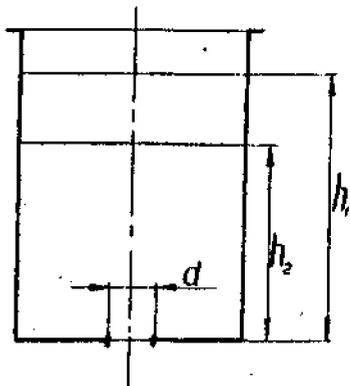


Рис.6.

Величина	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	3	4	3,5	5	4,5	2	1,5	2,5	5	6
d , м	0,015	0,020	0,025	0,015	0,02	0,012	0,016	0,022	0,03	0,035
h_1 , м	1,5	1,6	2	2,3	2,5	1,7	1,6	1,9	2	2,5
h_2 , м	0,5	0,5	0,9	1,1	1,0	1,2	0,9	0,7	0,5	1,3
Тип отверстия	Т	В	Т	Н	В	Т	Н	В	Т	Н

Примечание. *Т* - отверстие в тонкой стенке; *Н* - внешний цилиндрический насадок; *В* - внутренний цилиндрический насадок.

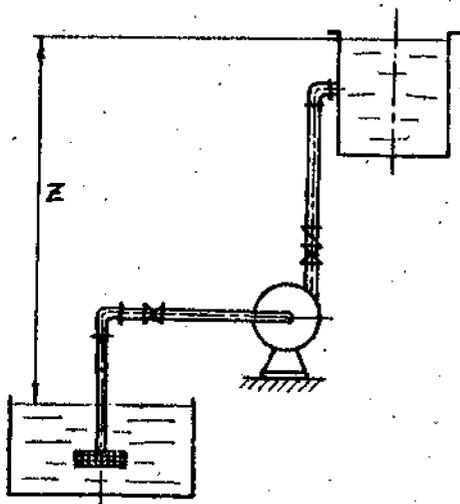


Рис. 7.

3. Построить характеристику сети, состоящей из одного насоса и трубопровода, диаметром d , длиной L и определить необходимую мощность на валу насоса при подаче воды на высоту Z . Местные сопротивления учесть эквивалентной длиной $l_{\text{экв}} = 30$ м. Коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода $\lambda = 0,020$ /рис.7/.

Насос характеризуется данными:

Q , м ³ /ч	0	40	80	120	180	200	240	300
H , м	35	40	38,5	37,5	34	30	25,5	20
η , %	0	39	57	60	73	73	69	65

Данные для решения задачи приведены в таблице.

Величина	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d , м	0,2	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,15
L , м	180	50	60	70	80	90	100	110	120	150
z , м	15	20	25	20	22	21	19	15	18	19

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица выбора вариантов для ответов
на теоретические вопросы

Шифр	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	1, 14, 44, 61 72	11, 22 45, 71 82	7, 31, 54, 69 72	2, 39, 45, 66 80	9, 16, 52, 62, 86	2, 20, 58, 68 73	7, 25, 46, 61 78	11, 29, 50, 65 82	1, 32, 53, 68, 85	3, 34, 55, 70, 87
8	4, 35, 48, 71, 88	2, 15, 56, 62 73	12, 23, 46, 61, 83	8, 32, 55, 70, 73	3, 40, 46, 67, 81	10, 17, 53, 63 87	3, 21, 59, 69 74	8, 26, 47, 62 79	12, 30, 51, 66, 83	2, 33, 54, 69, 86
7	13, 14, 57, 69, 78	5, 36, 49, 61, 89	3, 16, 57, 63, 74	13, 24, 47, 62, 84	9, 33, 56, 71, 74	4, 41, 47, 68, 82	11, 18, 54, 64 88	4, 22, 60, 70 75	9, 27, 48, 63 80	13, 31, 52, 67, 84
6	8, 20, 48, 66, 86	1, 15, 58, 70, 79	6, 37, 50, 62, 90	4, 17, 58, 64, 75	1, 25, 10, 34, 48, 63, 57, 61, 85 75	5, 42, 48, 69, 83	12, 19, 55, 65 89	5, 23, 44, 71 76	10, 28, 49, 64, 81	
5	2, 27, 55, 62, 74	9, 2 1, 49, 67, 87	2, 16, 59, 71, 80	7, 38, 51, 63, 72	5, 18, 59, 65, 76	2, 26, 49, 64, 86	11, 35, 58, 62 76	6, 43, 49, 70 84	13, 19, 56, 66 90	6, 24, 45, 61, 77
4	8, 33, 44, 68 80	3, 28, 56, 63, 75	10, 22, 50, 68, 88	3, 17, 60, 61 81	8, 39, 52, 64 73	6, 19a, 60, 66, 77	3, 27, 50, 65, 87	12, 36, 59, 63 77	7, 14, 50, 71, 85	1, 19a, 57, 67, 72
3	13, 36, 49, 62 85	9, 34, 45, 69, 81	4, 29, 57, 64, 76	11, 23, 51, 69 89	4, 18, 44, 62 82	9, 40, 53, 65 74	7, 19b, 44, 67 78	4, 28, 51, 66 88	13, 37, 60, 64 78	8, 15, 51, 61, 76
2	4, 40, 53, 66, 89	1, 37, 50, 63 86	10, 35, 46, 70, 82	5, 30, 58, 65, 77	12, 24, 52, 70 90	5, 19a, 45, 63 83	10, 41, 54, 66, 75	8, 19a, 54, 68, 79	5, 29, 52, 67, 89	1, 38, 44, 65, 79.
1	7, 43, 56, 69, 73	5, 41, 54, 67 90	2, 38, 51, 64, 87	11, 36, 47, 71, 83	6, 31, 59, 66 78	13, 25, 53, 71 72	6, 19b, 46, 64 84	11, 42, 55, 67, 76	9, 20, 46, 69, 80	6, 30, 53, 68, 90
0	9, 15, 58, 71, 75	8, 14, 57, 70 74	6, 42, 55, 68 72	3, 39, 52, 65 88	12, 35, 48, 61, 84	7, 32, 60, 67 79	1, 26, 54, 61 73	7, 19b, 47, 65 85	12, 43, 56, 68 77	10, 21, 47, 70, 81

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлипченко З.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. - К.: Техника, 1976.
2. Угинчус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. - Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1970.
3. Маковозов М.И. Гидравлика и гидравлические машины. - Москва: Машгиз, 1962.
4. Методические указания к выполнению расчетно-графических и курсовых работ по гидравлике для студентов всех специальностей / Сост. И.К.Мотуз. - К.: КТИИП, 1983.

Учебное издание

Программа, методические указания
и контрольные задания по дисциплине
"Гидравлика и гидравлические машины"
для студентов технологических специальностей
всех форм обучения

Составители Мотуз И.К.,
Савцова О.В.

Редактор Л.Г.Рева
Корректоры: Л.И.Колесник
Т.В.Коростелева
Н.Ф.Слюпиня

Подл. к печ. 05.06.90. Формат 80×84¹/₁₆. Бумага
тип. № 3. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Усл. кр.-итт. 1,92.
Уч.-изд. л. 257. Тираж 800.
Заказ № 0167-р. Бесплатно.
КТИПП. 252801, Киев-17, Владимирская, 88.
РАПО «Украуполиграф».
252151, г. Киев, ул. Волянская, 80.

СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Програма, методичні вказівки і контрольні завдання по дисципліні «Гідравліка і гідравлічні машини» для студентів технологічних спеціальностей всіх форм навчання

Укладачі: І.К. Мотуз, О.В. Саввова К.: КТІХП, 1990,– 32 с.

Приводиться програма курсу з коротким викладом всіх розділів курсу з питаннями для самостійної перевірки знань; контрольні завдання з таблицею вибору варіанту

Ключові слова: курс, програма, контроль

Программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине «Гидравлика и гидравлические машины» для студентов технологических специальностей всех форм обучения

Составители: И.К. Мотуз, О.В. Саввова К.: КТІПЦ, 1990,– 32 с.

Приводится программа курса с кратким изложением всех разделов курса с вопросами для самостоятельной проверки знаний; контрольные задачи с таблицей выбора варианта

Ключевые слова: курс, программа, контроль

Program, methodical pointing and control tasks on discipline of «Gidravlyka and hydraulic machines» for the students of technological specialities of all of forms of teaching

Compilers: I.K. Motuz, O.V. Savvova K.: КТІФІ, 1990.- 32 p.

Compilers:

The program over of course is brought with short exposition of all of sections of course with questions for independent verification of knowledges; check problems with the table of choice of variant

Keywords: course, program, control