

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Утверждено
на заседании
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Протокол № 20 от 12 мая 1985 г.

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
ПО КУРСУ "ГИДРАВЛИКА, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И ГИДРОПРИВОДЫ"
для студентов специальности ОБ17
заочной формы обучения

Киев КТИП 1986

Программа, методические указания и контрольные задания по курсу
"Гидравлика, гидравлические машины и гидроприводы" для студентов спе-
циальности 0517 заочной формы обучения /Сост. И.К.Мотуз, В.Н.Герашен-
ко. - Киев: КТИШ, 1986. - 36 с.

Составители И.К.Мотуз,
В.Н.Герашенко, канд. техн. наук
Рецензент И.Ф.Малежик

Изучению настоящего курса должно предшествовать изучение курсов физики, высшей математики, теоретической механики и частично сопротивления материалов.

Цель работы:

1. Изучить и освоить основные гидравлические понятия, гидравлические законы и методы, необходимые для усвоения ряда разделов специальных дисциплин, где приходится обращаться к применению основных законов и методов гидравлики, в частности важнейшие разделы в курсах: процессы и аппараты пищевых производств, специальное оборудование, паровые котлы и двигатели и т.п.

2. Изучить и усвоить основные законы гидростатики и гидродинамики, а затем научиться применять их к реальным жидкостям. Пользуясь этими знаниями, научиться анализировать работу и рассчитывать трубопроводы, различные производственные резервуары, элементы аппаратов, в которых покоится или движется жидкость, элементы простейших гидротехнических сооружений, которые встречаются в пищевой промышленности.

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

Курс гидравлики делится на три раздела:

1. Гидростатика - изучает законы равновесия - покоя жидкого тела, причем рассматривается лишенная трения так называемая идеальная (совершенная) жидкость.

2. Гидродинамика - изучает законы движения жидкого тела. При этом также рассматривается идеальная жидкость.

3. Техническая гидравлика - использует выводы гидростатики и гидродинамики в применении к реальным жидкостям; исследует гидравличе-

ские свойства потоков жидкости; рассматривает методы расчета трубопроводов; изучает течение жидкости через отверстия, насадки, водосливы, соответствующую методику их расчета.

Кроме гидравлики, в курсе изучают и гидравлические машины. Главное внимание уделяется тем гидравлическим машинам, которые наиболее часто применяются в нашей промышленности, а именно: центробежным насосам, ротационным и поршневым насосам, компрессорам и вентиляторам, гидравлическим прессам и аккумуляторам. Из перечисленных гидравлических машин наиболее подробно следует рассмотреть центробежные насосы как наиболее широко распространенные в промышленности.

Для лучшего усвоения учебного материала по гидравлике и гидравлическим машинам учебным планом 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, а после усвоения всего учебного материала соответственно программе сдает экзамен. Сроки выполнения всех перечисленных видов учебной работы по курсу устанавливает деканат факультета.

При выполнении контрольных заданий необходимо:

- 1) написать условие задачи или примера;
- 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) примеры и задачи, не имеющие вариантов, выполняются всеми студентами.

Для изучения гидравлики достаточно пользоваться одним из источников [1-6; 8], для изучения гидравлических машин - учебниками [1] и [6], которые составлены с учетом особенностей насосного хозяйства пищевых предприятий.

ПРОГРАММНЫЙ МАТЕРИАЛ, ПОДЛЕЖАЩИЙ ИЗУЧЕНИЮ

Часть I. ГИДРАВЛИКА

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. Значение и применение гидравлики в современном машиностроении. Перспективы ее развития.

I. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

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

Методические указания

Объектом изучения в гидравлике является жидкость — физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой. Поэтому при воздействии даже незначительной силы жидкость 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 ее с газом. Все жидкости при изменении давления и температуры изменяют свой объем. Жидкости сжимаются незначительно, например, при повышении давления от 0,1 до 10 МПа объем воды уменьшается лишь на 0,5%. Поэтому чаще всего в гидравлических расчетах жидкости считаются несжимаемыми. Однако при рассмотрении отдельных вопросов, например гидравлического удара, сжимаемость жидкости следует учитывать. С увеличением температуры жидкости расширяются; например, при повышении температуры воды от 4 до 100°C ее объем увеличивается приблизительно на 4%.

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, характеризует степень текучести жидкости и подвижности ее частиц. Наименьшей вязкостью обладают вода, эфир, спирт и углекислота. При увеличении температуры вязкость жидкости заметно уменьшается. Пока жидкость не движется, вязкость не проявляется, поэтому при решении задач равновесия жидкостей ее не надо принимать во внимание. При движении жидкости необходимо учитывать силы трения, которые появляются из-за вязкости и подчиняются закону Ньютона. Однако существуют и такие жидкости, в которых силы трения возникают уже в состоянии покоя при их стремлении прийти в движение. Такие жидкости называются неньютоновскими, или аномальными.

Вопросы для самопроверки

1. Различие между плотностью, удельным и относительным весом.
2. Зависимость вязкости жидкости от температуры и давления.
3. Взаимосвязь динамического и кинематического коэффициентов вязкости.
4. Чем отличается идеальная жидкость от реальной? В каких случаях при практических расчетах жидкость можно считать идеальной?
5. Размерности плотности, объемного веса, динамического и кинематического коэффициентов вязкости в единицах СИ, МКГСС и СГС.

2. 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. 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. Эпиры гидростатического давления. Плавание тел. Закон Архимеда.

Методические указания

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

Основными уравнениями равновесия являются дифференциальные уравнения Эйлера. Производные этих уравнений:

1) поверхности равного давления

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0, \quad (1)$$

где X, Y, Z - проекции ускорения массовых (объемных) сил на соответствующие оси;

2) основное уравнение гидростатики

$$Z + \frac{P}{\rho g} = H_s, \quad (2)$$

где Z - геометрическая высота (напор); $\frac{P}{\rho g}$ - пьезометрическая высота (напор).

Рассмотрев основное уравнение гидростатики для двух точек в жидкости, можно найти разницу между атмосферным, избыточным и абсолютным давлениями и вакуумом:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{ат}; \quad (3)$$

$$P_{абс} = P_{ат} + P_{изб}; \quad (4)$$

$$P_{вак} = P_{ат} - P_{абс}. \quad (5)$$

Силу избыточного давления на плоскую стенку можно определить аналитическим и графоаналитическим методами. При аналитическом методе

$$P = \rho g h_c F, \quad (6)$$

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

Точка приложения этой силы называется центром давления.

При графоаналитическом методе строят эпюры давления. Силы давления равняются объему пространственной эпюры, а ее вектор проходит через центр тяжести этой эпюры.

Равнодействующая сил давления на криволинейные поверхности выражается тремя взаимно перпендикулярными составляющими P_x, P_y и P_z . Силы P_x и P_y вычисляются как силы давления на плоские поверхности (проекция криволинейной поверхности на вертикальные плоскости), а P_z - как вес тела давления.

с различными скоростями, характеризует степень текучести жидкости и подвижности ее частиц. Наименьшей вязкостью обладают вода, эфир, спирт и углекислота. При увеличении температуры вязкость жидкости заметно уменьшается. Пока жидкость не движется, вязкость не проявляется, поэтому при решении задач равновесия жидкостей ее не надо принимать во внимание. При движении жидкости необходимо учитывать силы трения, которые появляются из-за вязкости и подчиняются закону Ньютона. Однако существуют и такие жидкости, в которых силы трения возникают уже в состоянии покоя при их стремлении прийти в движение. Такие жидкости называются неньютоновскими, или аномальными.

Вопросы для самопроверки

1. Различия между плотностью, удельным и относительным весом.
2. Зависимость вязкости жидкости от температуры и давления.
3. Взаимосвязь динамического и кинематического коэффициентов вязкости.
4. Чем отличается идеальная жидкость от реальной? В каких случаях при практических расчетах жидкость можно считать идеальной?
5. Размерности плотности, объемного веса, динамического и кинематического коэффициентов вязкости в единицах СИ, МКГСС и СГС.

2. 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. 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 величины, направления и точки приложения силы давления на плоские и криволинейные поверхности.

Основными уравнениями равновесия являются дифференциальные уравнения Эйлера. Производные этих уравнений:

1) поверхности равного давления

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0, \quad (1)$$

где X, Y, Z — проекции ускорения массовых (объемных) сил на соответствующие оси;

2) основное уравнение гидростатики

$$Z + \frac{P}{\rho g} = H_s, \quad (2)$$

где Z — геометрическая высота (напор); $\frac{P}{\rho g}$ — пьезометрическая высота (напор).

Рассмотрев основное уравнение гидростатики для двух точек в жидкости, можно найти разницу между атмосферным, избыточным и абсолютным давлениями и вакуумом:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{ат}; \quad (3)$$

$$P_{абс} = P_{ат} + P_{изб}; \quad (4)$$

$$P_{вак} = P_{ат} - P_{абс}. \quad (5)$$

Силу избыточного давления на плоскую стенку можно определить аналитическим и графоаналитическим методами. При аналитическом методе

$$P = \rho g h_c F, \quad (6)$$

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

Точка приложения этой силы называется центром давления.

При графоаналитическом методе строят эпюры давления. Силы давления равняются объему пространственной эпюры, а ее вектор проходит через центр тяжести этой эпюры.

Равнодействующая сил давления на криволинейные поверхности выражается тремя взаимно перпендикулярными составляющими P_x, P_y и P_z . Силы P_x и P_y вычисляются как силы давления на плоские поверхности (проекция криволинейной поверхности на вертикальные плоскости), а P_z — как вес тела давления.

Покой жидкости относительно стенки сосуда, движущегося или вращающегося вместе с жидкостью, называется относительным покоем, или равновесием. В данном случае к силе тяжести добавляется еще сила инерции. Примерами относительного покоя могут быть: движущаяся цистерна с жидкостью, сосуд с жидкостью, вращающийся вокруг вертикальной или горизонтальной оси.

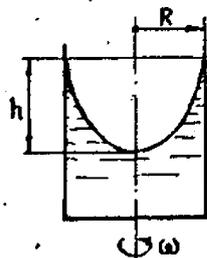
При вращении сосуда вокруг вертикальной оси в результате действия центробежных сил поверхность жидкости приобретает форму параболоида (см. рисунок), высота которого

$$h = \frac{\omega^2 R^2}{2g}, \quad (7)$$

где ω - угловая скорость; R - радиус сосуда.

Объем параболоида

$$V = \frac{1}{2} \pi R^2 h. \quad (8)$$



Вопросы для самопроверки

I. Что называется гидростатическим давлением и в каких единицах оно измеряется? Его основные свойства.

2. Как выражается основное уравнение гидростатики?

ростатики?

3. Что называется абсолютным давлением, манометрическим давлением, вакуумом?

4. Каково наибольшее возможное значение вакуума и чем оно ограничивается?

5. В чем заключается разница между напором и давлением?

6. Почему при определении силы давления жидкости на поверхность чаще всего оперируют не абсолютным, а манометрическим давлением или вакуумом?

7. Какие устройства конструируются на основе закона Паскаля?

8. Как определить силу давления жидкости на плоскую поверхность?

9. Что такое центр давления? Когда центр давления плоской фигуры совпадает с ее центром тяжести?

10. Какие силы действуют на жидкость в случаях относительного и абсолютного покоя?

II. Какую форму принимают поверхности равного давления в следующих случаях: а) когда на жидкость из массовых сил действует лишь сила

тяжести (случай абсолютного покоя); б) при вращении жидкости вместе с сосудом вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью; в) при прямолинейном движении сосуда с жидкостью: равномерно, с положительным ускорением, с отрицательным ускорением?

3. КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ЖИДКОСТИ

Виды движения жидкости. Основные понятия кинематики жидкости: линия тока, трубка тока, элементарная струйка, живое сечение, расход. Поток жидкости. Средняя скорость. Уравнение неразрывности. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для установившегося движения идеальной жидкости. Геометрическое и энергетическое толкование уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости. Коэффициент Кориолиса. Общие сведения о гидравлических потерях. Виды гидравлических потерь. Трубка Пито, водомер Вентури.

Методические указания

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

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_2}{F_1}, \quad (9)$$

т.е. скорости потока обратно пропорциональны сечениям.

Расход жидкости Q будет $vF = const$ для различных сечений.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера дают общую зависимость между скоростями движущихся частиц жидкости и силами, действующими на эти частицы. Интегрирование этих уравнений позволяет получить основное уравнение гидродинамики - уравнение Бернулли, применяемое в гидравлических расчетах потока реальной жидкости при установившемся движении.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{zл}, \quad (10)$$

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 ~~положения~~ ^{давления} в тех же сечениях); $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}, \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ - скоростные напоры (удельная кинетическая энергия); α_1, α_2 - коэффици-

енты неравномерности распределения скоростей по сечениям (коэффициенты Корволаса), равные отношению истинной кинетической энергии к энергии, подсчитанной по средней скорости; $h_{z\ell}$ - потери напора (энергии) на преодоление местных гидравлических сопротивлений и сопротивлений по длине;

$$h_{z\ell} = h_z + h_e = \frac{v^2}{2g} \left(\sum \xi + \lambda \frac{\ell}{d} \right); \quad (II)$$

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

При решении практических инженерных задач уравнение неразрывности (9) и уравнение Бернулли (10) 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-струйным или плавно изменяющимся.

При составлении уравнений для двух сечений необходимо руководствоваться следующим:

уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений, нормальных к направлению скорости. Эти сечения должны располагаться на прямолинейных участках потока;

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;

нумеровать расчетные сечения следует так, чтобы жидкость двигалась от первого сечения ко второму. В противном случае меняется знак потерь напора $h_{z\ell}$;

плоскость сравнения должна быть горизонтальной. Положение центра тяжести живого сечения Z выше плоскости сравнения считается положительной, а ниже - отрицательной;

последний член уравнения учитывается для всех потерь напора между расчетными сечениями как местными, так и на трение;

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

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение и приведите примеры основных видов движения жидкости: установившегося и неустановившегося, напорного и безнапорного, равномерного и неравномерного.

2. Что такое линия тока, трубка тока и элементарная струйка?
3. При каких условиях сохраняется постоянство расхода вдоль потока?
4. Физический смысл величин, входящих в дифференциальное уравнение гидродинамики Эйлера.
5. Геометрический и физический смысл гидравлического и пьезометрического уклонов. Могут ли они быть отрицательными?
6. Ограничения в применении уравнения Бернулли.
7. 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?
8. Причины возникновения потерь напора при движении вязкой жидкости. Дайте определение понятию "гидравлические потери напора".

4. РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

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

Методические указания

При определении потерь напора при движении жидкости в трубопроводе нужно знать, какой при этом будет режим движения — ламинарный или турбулентный.

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

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (12)$$

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 динамическое подобие потоков. Следует четко представить содержание этих частных критериев подобия. Для пол-

ного гидродинамического подобия необходима пропорциональность всех сил, действующих в потоке, но подобие по одним силам часто исключает подобие по другим, поэтому считается достаточным получение приближенного подобия по силам, преобладающим в данном потоке. Критериями такого подобия являются критерий Рейнольдса (преобладание сил трения), критерий Фруда (силы тяжести), критерий Эйлера (силы давления).

Особое внимание следует обратить на критерий Рейнольдса. Он представляет собой отношение сил инерции к силам трения. Режимы движения жидкости и переход одного режима в другой объясняются преобладанием силы инерции или силы трения в потоке, т.е. величиной Re . Многие величины, характеризующие движение жидкости, могут быть представлены как функции Re .

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается структура потока при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости в трубах?
2. Как определить число Рейнольдса для круглого трубопровода?
3. Что называется критической скоростью?
4. Влияет ли температура жидкости на критическую скорость?
5. Принципы геометрического, кинематического и ~~динамического~~ ^{кинетического} подобия потоков.
6. Какие силы преобладают в потоке, если моделирование производится по равенству чисел Рейнольдса и по равенству чисел Фруда?

5. ЛАМИНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Распределение скоростей по сечению круглой трубы (закон Стокса). Определение расхода и средней скорости. Потери напора по длине трубы. Коэффициент сопротивления трения.

Методические указания

В ламинарном потоке частицы жидкости движутся слоями с различными скоростями 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

$$h_e = \frac{64}{Re} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (13)$$

где $\frac{64}{Re} = \lambda$ - 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 будет равна половине максимальной.

Вопросы для самопроверки

1. Закон распределения касательных напряжений в цилиндрическом трубопроводе.
2. Изобразить эпюру скоростей в цилиндрическом трубопроводе и доказать соотношение между средней и максимальной скоростями.
3. Чем можно объяснить то, что при ламинарном движении потери напора по длине пропорциональны первой степени скорости?
4. От каких параметров зависит коэффициент сопротивления трения λ ?

6. ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Структура турбулентного потока. Пульсация скоростей. Осредненные местные скорости. 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. Графики Никурадзе и Мурамя. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. Формулы для определения коэффициента Дарси и область их применения.

Методические указания

Турбулентный поток характеризуется хаотическим перемещением частиц жидкости.

Потери напора по длине при турбулентном режиме определяют по формуле Дарси

$$h_{\ell} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Коэффициент сопротивления трения λ определяют по другим зависимостям. Если при ламинарном режиме $\lambda = \frac{64}{Re}$, т.е. $\lambda = f(Re)$, то при турбулентном режиме $\lambda = f(Re; \bar{\Delta})$, где $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$ - относительная шероховатость (Δ - абсолютная шероховатость; d - диаметр трубопровода).

Формулы для подсчета λ в зависимости от режима движения.

1. Ламинарное движение $\lambda = \frac{64}{Re}$.

2. Турбулентное движение.

а) Гидравлически гладкие трубы: $Re \leq \frac{20}{\Delta}$.

Формула Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (15)$$

Формула Коцакова:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \quad (16)$$

б) Гидравлически шероховатые трубы: $\frac{20}{\Delta} < Re \leq \frac{500}{\Delta}$.

Формула Альтуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{\alpha} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (17)$$

Формула Френкеля:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\Delta}{3,7\alpha} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (18)$$

в) Шероховатые трубы (квадратичная зона):

$$Re > \frac{500}{\Delta}$$

Формула Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{\alpha} \right)^{0,25} \quad (19)$$

Формула Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{\Delta}{\alpha} + 1,74 \right)^2} \quad (20)$$

Вопросы для самопроверки

1. Характерные особенности турбулентного режима движения жидкости в трубах.

2. Объясните понятия "гидравлически гладкие", "гидравлически шероховатые" и "шероховатые трубы".

3. Может ли одна и та же труба быть гидравлически гладкой и гидравлически шероховатой?

4. Объясните зоны сопротивления на графике Никурадзе.

5. Как рассчитывают зоны гидравлического сопротивления и какие формулы для подсчета λ в них применяют?

7. МЕСТНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Основные виды местных сопротивлений. Коэффициент местных сопротивлений. Внезапное расширение трубы (теорема Борда). Диффузоры. Суженные трубы. Колена. 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, которую определяют зависимостью

$$h_z = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (21)$$

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

Коэффициент местных сопротивлений определяют экспериментально. Исключением является внезапное расширение трубопровода, потери напора в котором определены аналитически Бордом (с некоторыми допущениями).

Вопросы для самопроверки

1. Когда при движении жидкости возникают местные потери напора?
2. Меняется ли ζ в зависимости от режима движения жидкости?
3. По какой формуле рассчитывают местные потери?
4. Как определяется ζ ?
5. В каких случаях в гидросистемах следует определить каждое местное сопротивление в отдельности?
6. Как определяется потеря напора при внезапном расширении струи?

8. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. Коэффициенты сжатия, скорости, расхода. Истечение жидкости

через цилиндрический насадок. Насадки различного типа. Истечение при переменном напоре. Понятие о струйной технике.

Методические указания

Тонкой называют стенку, которая образует у отверстия заостренную кромку. К тонким относят стенки толщиной $S < 0,2d$ (при круглых отверстиях).

Насадок - короткий патрубок, длина которого $3d < l < 7d$.
Расход жидкости через отверстия и насадки

$$Q = \mu F_{от} \sqrt{2gH}, \quad (22)$$

где μ - коэффициент расхода; $F_{от}$ - площадь сечения отверстия; H - напор над центром тяжести отверстия.

Скорость истечения

$$v = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (23)$$

где φ - коэффициент скорости; $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}}$; ζ - коэффициент сопротивления отверстия.

Коэффициенты сжатия, расхода, скорости и сопротивления у отверстий в тонких стенках и у насадков различны.

Вопросы для самопроверки

1. Какие отверстия считают малыми?
2. Почему поперечное сечение струи в сжатом сечении меньше поперечного сечения отверстия?
3. Какие могут быть случаи сжатия струи?
4. Взаимосвязь коэффициентов скорости φ , расхода μ , сжатия ϵ и местного сопротивления ζ ?
5. Что называется насадком? Чем отличается насадок от трубопровода?
6. Как изменяется кинетическая энергия струи при истечении через сужающийся и расширяющийся насадки?
7. Почему коэффициенты скорости и расхода насадки не равны единице?
8. Чему равен вакуум в насадке?
9. Что такое водослив и как определяется им расход жидкости.

9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

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

Методические указания

При расчете напорных трубопроводов используют уравнение неразрывности потока (9) и Бернулли (10). 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. $H = \sum h_{ге}$ (напор располагаемый и потерянный одинаковы).

В зависимости от гидравлической схемы работы и от методов гидравлического расчета различают трубопроводы короткие и длинные, простые и сложные, разветвленные и замкнутые, с транзитными и путевыми расходами 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 составляет 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

1. Какие трубопроводы называются короткими и длинными, простыми и сложными? В чем особенности гидравлического расчета таких трубопроводов?
2. Изложите методику решения трех типовых задач расчета простого короткого трубопровода.
3. Особенность расчета трубопроводов с параллельным соединением линий.
4. Что такое сифон? Особенности его гидравлического расчета.
5. Особенность расчета трубопроводов с насосной подачей жидкости.

10. НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ

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

Методические указания

Расчет трубопровода 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.

$$T = \frac{2L}{c}, \quad (24)$$

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 Куковского для прямого удара

$$P_{уд} = P + \rho c v; \quad (25)$$

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. Для его предотвращения необходимо увеличить продолжительность открытия или закрытия запорных приспособлений, установить специальные приборы и приспособления на трубопроводах.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличается неустановившееся движение от установившегося?
2. Что называется гидравлическим ударом в трубах?
3. Что такое фаза гидравлического удара? Ее роль в оценке удара и в расчете ударного давления.
4. Как определить скорость распространения ударной волны?
5. Что такое гидравлический таран? Принцип его работы.
6. Способы предотвращения или снижения ударного давления.

II. 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 $\frac{\rho V^2}{2}$ и количество движения данной массы ρV .

Вопросы для самопроверки

1. Активное и реактивное действие струи.
2. Чему равна реактивная сила взаимодействия между струей и твердым телом?
3. Чему равно активное давление струи на плоскую и ковшобразную стенки?

Часть II. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Раздел А. ЛОПАСТНЫЕ НАСОСЫ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОМАШИНАХ

Насосы и гидродвигатели. Классификация насосов. Принцип действия динамических и объемных насосов. Основные параметры насосов: подача (расход), напор, мощность, КПД.

Методические указания

Гидравлическими машинами называются устройства, которые служат для преобразования механической энергии двигателя в энергию перемещаемой жидкости (насосы) и преобразования энергии потока жидкости в механическую энергию на выходном валу двигателя (гидродвигатели).

Все типы насосов по принципу действия делятся на две группы: динамические (лопастные) и объемные (насосы вытеснения). К первой группе относятся центробежные, диагональные, осевые, вихревые насосы, а ко второй – поршневые, роторные.

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

Подача – это количество (объем) жидкости, подаваемое насосом в единицу времени.

Напор – работа, совершаемая насосом по перемещению единицы веса жидкости, обычно выражается в метрах столба перекачиваемой жидкости

$$H = \frac{P_H}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2g} + \Delta Z, \quad (26)$$

где P_H и P_B – абсолютные давления в местах установки манометра и вакуумметра; v_H и v_B – средние скорости в нагнетательном и всасывающем патрубках; ΔZ – вертикальное расстояние между точками подключения манометра и вакуумметра.

КПД насоса – отношение полезной мощности насоса ко всей затраченной. Общий КПД состоит из трех составляющих

$$\eta = \eta_o \eta_r \eta_m, \quad (27)$$

где η_o – объемный КПД, учитывающий утечки жидкости; η_r – гидравлический КПД, учитывающий гидравлические сопротивления внутри насоса; η_m – механический КПД, учитывающий трение в механизме насоса.

Вопросы для самопроверки

1. Как подсчитать необходимую мощность двигателя насоса? Как она выражается через напор и через давление?
2. Как определить объемный, гидравлический и механический КПД?
3. Как определить общий КПД насоса?
4. Принцип работы динамических и объемных насосов.
5. Как определить напор насоса по показаниям приборов и по элементам насосной установки?

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ И ИХ СВОЙСТВА

Центробежные насосы. Схемы одноступенчатых центробежных насосов. Уравнение Эйлера. Теоретический напор насоса. Полезный напор. Потери энергии в насосе. Характеристика центробежных насосов. Коэффициент быстроходности. Типы лопастных насосов. Применение формул подобия для пересчета характеристик насосов. Регулирование подачи. Последовательное и параллельное соединение. Кавитация в лопастных насосах. Кавитационная характеристика. Кавитационный запас. Формула Руднева и ее применение.

Методические указания

Работа лопастных насосов основана на силовом взаимодействии лопастей с обтекающим их потоком. При вращении рабочего колеса в потоке жидкости возникает разность давлений по обе стороны каждой лопасти (подъемная сила). Силы давления лопастей на поток создают вынужденное вращательное и поступательное движение жидкости, увеличивая ее давление и скоростной напор, т.е. механическую энергию.

Приращение энергии потока жидкости в лопастном колесе (напор насоса) зависит от сочетания скоростей протекания потока, частоты вращения колеса, его размеров, формы лопаток, т.е. от сочетания конструкции, размеров, частоты вращения и подачи насосов. Таким образом, главная особенность и отличие лопастных насосов от объемных состоит в том, что напор и подача у этих насосов взаимосвязаны, а подача непрерывна.

Созданная Л.Эйлером (XVII в.) приближенная струйная теория лопастных машин до настоящего времени является основой для их расчета. Сложность гидродинамических явлений, которые возникают при протекании жидкости в рабочих органах насоса, привела к теоретической модели идеального рабочего колеса с бесконечным числом бесконечно тонких лопастей. На основе струйной теории Л.Эйлером получено основное уравнение лопастных насосов, дающее зависимость теоретического напора от треугольников скоростей на выходе из рабочего колеса и на входе в него. С целью удовлетворительного согласования теории с данными опыта в формулу полезного (действительного) напора вводят поправки на конечное число лопаток и на гидравлические потери:

$$H = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \eta_r K, \quad (28)$$

где U_2, C_2 - соответственно окружная и абсолютная скорость на выходе из колеса; α_2 - угол между окружной и абсолютной скоростями на выходе; η_r - гидравлический КПД; K - коэффициент, учитывающий конечное число лопастей рабочего колеса; g - ускорение силы тяжести.

Различают теоретические и действительные характеристики лопастных насосов. Теоретические характеристики получают в результате анализа основного уравнения лопастных насосов. Только в процессе испытаний насосов определяют их действительные характеристики - кривые зависимости напора, подачи, затраченной мощности, КПД и частоты вращения насоса. Характеристики дают достаточно полное представление об эксплуатационных качествах насосов и позволяют решать вопросы, связанные с их эксплуатацией и проектированием.

При конструировании новых образцов насосов прибегают к лабораторным исследованиям на моделях, поскольку нет надежной теории, на основании которой можно получать удовлетворительные по точности результаты.

Используя теорию подобия насосов, получаем данные для натуральных насосов.

На основании первого закона подобия

$$\frac{Q^M}{Q^H} = \left(\frac{D_2^M}{D_2^H}\right)^3 \frac{n^M}{n^H} \frac{\eta_o^M}{\eta_o^H}; \quad (29)$$

на основании второго закона подобия

$$\frac{H^M}{H^H} = \left(\frac{D_2^M}{D_2^H}\right)^2 \left(\frac{n^M}{n^H}\right)^2 \frac{\eta_r^M}{\eta_r^H}; \quad (30)$$

на основании третьего закона подобия

$$\frac{N^M}{N^H} = \left(\frac{D_2^M}{D_2^H}\right)^5 \left(\frac{n^M}{n^H}\right)^3 \frac{\eta_m^M}{\eta_m^H}; \quad (31)$$

Теория подобия позволяет определить закон пропорциональности параметров насосов, удельную частоту вращения - коэффициент быстроходности N_s .

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

Студенту нужно 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 на рабочее колесо центробежного насоса ниже давления парообразования. Студент должен знать физическую сущность явления кавитации и меры борьбы с ней.

Необходимо также знать и уметь пользоваться формулой для определения допустимой высоты всасывания центробежного насоса, и формулой Руднева при расчете кавитационного запаса.

Вопросы для самопроверки

1. Начертите схему и объясните принцип действия одноступенчатого центробежного насоса.
2. Приведите параллелограммы скоростей на входе и выходе из рабочего колеса и поясните их.
3. Напишите основное уравнение центробежных насосов Эйлера, поясните его вывод и физический смысл.
4. В чем заключаются соотношения подобия (пропорциональности) для лопастных машин и для каких целей они применяются?
5. Что называется рабочей и универсальной характеристиками центробежных насосов?
6. На какие виды делятся лопастные насосы по быстроходности?
7. Как найти подачу и напор (рабочую точку) при работе одного и двух центробежных насосов на сеть? Приведите соответствующие графики и характеристики.
8. Что такое осевое давление, как оно возникает? Меры по его устранению (уравновешиванию).
9. Физическая сущность явления кавитации в лопастных машинах.
10. Влияние кавитации на работу центробежных насосов и меры борьбы с ней.
11. Методы регулирования подачи центробежных насосов и их физическая сущность.

Раздел Б. ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ

Поршневой и плунжерный насосы. Область применения. Насосы многократного действия. Формулы подачи. Графики подачи и ее неравномерность. Давление в цилиндре насоса в период всасывания и нагнетания. Допустимая высота всасывания. Воздушные колпаки. Теория действия воздушных колпаков. Роторные насосы. Диафрагменные насосы.

Методические указания

Поршневой насос представляет собой гидравлическую машину, в которой преобразование механической энергии двигателя в механическую энергию перемещаемой жидкости осуществляется поршнем или плунжером, совершающим возвратно-поступательное движение в цилиндре. Поршневые насосы принадлежат к классу объемных насосов. Они классифицируются по кратности действия, устройству поршня, расположению цилиндров, способу соединения поршня с двигателем, быстроходности (числу двойных ходов), развиваемому давлению. Студент должен знать принцип действия насосов, уметь изобразить и пояснить принципиальные схемы насосов одностороннего, двойного, дифференциального действия и др.

Подача поршневых насосов пропорциональна их размерам (объему, вытесняемому поршнем при его движении на нагнетание), а также скорости движения поршня (числу двойных ходов или частоте вращения в единицу времени). Напор поршневых насосов не связан с подачей и зависит от сопротивления (геометрический напор, гидравлические сопротивления), которые он должен преодолевать.

Одна из основных особенностей поршневых насосов – неравномерная подача жидкости во времени. Студент должен знать способ построения графика мгновенной подачи и уметь вывести числовые значения коэффициента неравномерности подачи для насосов различной кратности действия, рассматривать влияние клапанного распределения жидкости на характеристики и свойства поршневых насосов.

Для улучшения равномерности подачи на всасывающем и напорном патрубках насоса устанавливаются воздушные колпаки. Анализируя работу воздушных колпаков, нужно понять, почему установка колпака на всасывающем патрубке позволяет увеличить высоту всасывания и число двойных ходов насоса, а установка колпака на напорном патрубке сглаживает неравномерность подачи жидкости к потребителю.

Важная характеристика работы насоса – индикаторная диаграмма, представляющая собой кривую изменения давления в камере насоса за один двойной ход поршня. Индикаторная диаграмма позволит судить о качестве насоса и влиянии воздушных колпаков на процессы всасывания и нагнетания, дает возможность установить наличие тех или иных нарушений в работе насоса, позволяет уточнить баланс мощности и КПД в насосе.

Роторными называются объемные насосы вращательного движения, состоящие из статора, ротора и замыкателей, герметично соприкасающиеся со статором и ротором и разделяющие прислужную камеру от нагнетательной. По конструкции роторные насосы разделяют на роторно-поршневые (радиаль-

вые и аксиальные), пластинчатые (шиберные), шестеренные, винтовые. Эти насосы широко используют в объемных гидравлических приводах. Роторные насосы обратимы, т.е. могут работать в качестве насосов и гидромоторов, имеют бесклапанное распределение жидкости (поэтому их выполняют быстроходными), имеют меньшую неравномерность подачи, чем поршневые насосы, могут быть с регулированием и реверсированием подачи (роторно-поршневые насосы и шиберные простого действия).

Роторные насосы, как и поршневые, не могут работать с закрытой задвижкой и снабжаются предохранительным клапаном, разгружающим насос в случае перегрузки.

- Вопросы для самопроверки

1. Приведите схемы поршневых насосов одинарного, двойного, дифференциального действия и объясните принцип их работы.
2. От чего зависит и по каким формулам определяется подача насосов различной кратности действия? Что такое объемный КПД насоса?
3. Приведите графики мгновенной подачи поршневых насосов одинарного и двойного действия, объясните метод их построения и гидравлическую сущность, укажите способы уменьшения неравномерности подачи.
4. Изобразите индикаторную диаграмму поршневого насоса и объясните ее. В чем отличие действительной индикаторной диаграммы от идеальной?
5. От чего зависит и как определяется высота всасывания поршневых насосов? Способы увеличения высоты всасывания.
6. Преимущества и недостатки поршневых насосов по сравнению с центробежными.
7. Регулирование подачи поршневых насосов и правила их пуска.
8. Приведите конструктивные схемы и объясните причины действия роторных насосов.
9. Напишите формулы для определения подачи роторных насосов и объясните их. Изменением каких параметров осуществляется регулирование подачи насоса?
10. Преимущества и недостатки роторных насосов. Область их применения.
11. Когда применяются диафрагменные насосы?

Раздел В. ОБЪЕМНЫЙ ГИДРОПРИВОД

Основные понятия и элементы гидропривода

Принцип действия объемного гидропривода. Классификация объемных гидроприводов по характеру движения выходного звена и другим признакам.

Основные элементы гидропривода. Рабочие жидкости. Распределительные устройства. Дроссельные устройства. Фильтры. Гидроаккумуляторы. Регулирование гидропривода.

Методические указания

Объемный гидропривод предназначен для передачи механической энергии двигателя к исполнительным механизмам с помощью объемных гидравлических машин. Он состоит из источника энергии рабочей жидкости (насоса) и потребителя энергии жидкости (гидродвигателя). Насос и гидродвигатель соединяют два основных трубопровода, по одному из которых рабочая жидкость перемещается от насоса к двигателю, а по другому возвращается из гидродвигателя к насосу. На обоих трубопроводах монтируют управляющие и регулирующие гидроаппараты определенного назначения.

Объемные гидроприводы обладают высоким быстродействием, малыми габаритными размерами и небольшой массой.

Полный КПД гидропривода достаточно высок и определяется зависимостью

$$\eta = \eta_n \eta_m; \quad (32)$$

η_n, η_m - полный КПД соответственно насоса и гидромотора.

Полный КПД гидропривода средней мощности обычно равен 0,8...0,85, хотя в отдельных случаях может достигать 0,9...0,94.

Рабочую жидкость надо подбирать такой вязкости, чтобы потери в линиях гидропривода были минимальными. Температура жидкости 55...60°C считается нормальной. При такой температуре применяют жидкости с кинематической вязкостью: при давлениях до 7,0 МПа $\nu = (0,20...0,36) \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; при давлениях 7,0...20 МПа $\nu = (0,6...1,1) \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Распределительные устройства предназначены для направления и распределения потока рабочей жидкости от насоса к гидромоторам и отвода от них отработавшей жидкости на слив. Различают устройства пробковые, золотниковые и клапанные.

Для регулирования объемного гидропривода применяют дроссели, представляющие собой регулируемое сопротивление. Его устанавливают на входе, выходе или параллельно гидромотору.

Объемное регулирование осуществляется изменением рабочего объема насоса или гидромотора или обоих вместе. Регулирование происходит практически без потерь, но с большими экономическими затратами.

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях применяют объемные и в каких динамические гидropередачи?
2. Что называется гидроприводом и гидropередачей?
3. Принцип действия объемного гидропривода.
4. В каких гидроприводах можно реверсировать движение и как это осуществляется?
5. Какие существуют распределительные устройства?
6. Какое влияние на работу гидропривода оказывает вязкость рабочей жидкости?
7. Способы бесступенчатого регулирования частоты вращения или перемещения рабочего органа гидропривода.
8. Особенности дроссельного регулирования при различном расположении дросселя в схеме гидропривода.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № I

1. Относительная плотность подсолнечного масла $\delta = 0,925$. Определить удельный вес γ и плотность ρ этого масла в системах единиц СИ, МКСС.

2. Определить кинематическую вязкость мелассы, если ее абсолютная вязкость $\mu = 5,2$ пз, а относительная плотность $\delta = 1,4$.

3. Известно, что 200 см^3 масла вытекает из вискозиметра Энглера за 102 с, а такое же количество дистиллированной воды при 20°C - за 51 с. Определить вязкость масла в градусах Энглера ($^\circ\text{E}$) и его кинематическую вязкость. Привести рисунок вискозиметра.

4. Определить разность давлений в точках А и В, находящихся на осях цилиндров, наполненных водой, если разность уровней ртути в дифференциальном манометре h . Разность уровней осей цилиндров H . Температура t (рис. I.I). Данные к задаче приведены в табл. I.I.

Таблица I.I

Значение величины	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H м	1,0	3,5	2,0	1,5	3,0	2,5	5,0	4,0	4,5	6,0
h мм	70	180	100	90	150	140	220	190	200	240
t $^\circ\text{C}$	20	25	20	20	25	30	30	35	25	20

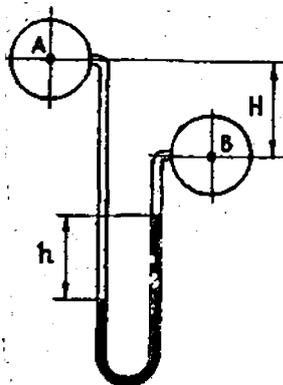


Рис. I.1

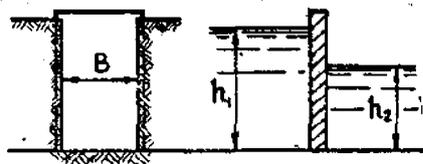


Рис. I.2

5. Канал с водой прямоугольного сечения шириной B перегороден подъемным щитом, который перемещается в пазах боковых сторон канала. Определить равнодействующую сил давления P на щит и подъемное усилие R , если коэффициент трения щита в пазах f , а вес щита G , Температура воды 15°C . Построить эпюр давления (рис. I.2). Данные к задаче приведены в табл. I.2.

Таблица I.2

Значение величины	Номер варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
B м	4	4,2	4,5	3,8	3,5	3,3	4,6	4,7	3,9	4,8	
h_1 м	3,0	3,1	3,3	3,2	2,8	2,6	3,2	3,0	2,7	2,9	
h_2 м	1,0	1,1	1,2	1,3	1,1	0,9	1,4	1,5	0,9	1,0	
G Н	2500	2750	3000	2240	2250	2250	3250	3400	3000	3300	
f	0,5	0,48	0,47	0,46	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	

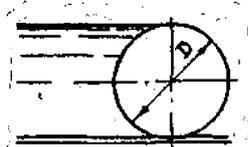


Рис. I.3

6. 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. I.3). Данные к задаче приведены в табл. I.3.

Таблица I.3

Значение величины, м	Номер варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
B	1,0	0,8	1,5	1,3	0,7	0,8	0,5	0,9	1,0	1,7	
D	1,5	1,7	1,0	1,6	1,5	1,4	1,0	1,4	1,7	1,0	

7. Вода в трубе конденсатора поднялась на высоту H . Показание ртутного вакуумметра h . Определить высоту H воды в барометрической трубе и давление в конденсаторе P_K (рис. I.4). Удельный вес ртути $\gamma = 133280 \text{ н/м}^3$. Данные к задаче приведены в табл. I.4.

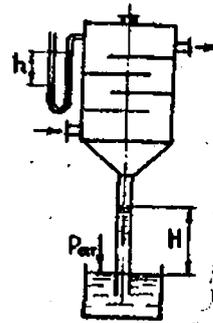


Рис. I.4

Таблица I.4

Значение величины, мм рт.ст.	Номер варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
h	640	600	620	630	580	635	625	615	610	590	

8. Манометром, состоящим из двух соединенных между собой U-образных трубок, измерить давление P газа в резервуаре. В трубках A и C ртуть, а в колене B - вода (рис. I.5) $\rho_{рт} = 13600 \text{ кг/м}^3$. Данные к задаче приведены в табл. I.5.

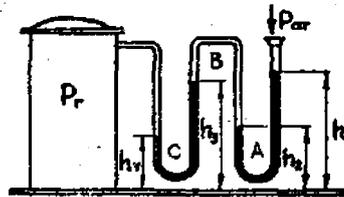


Рис. I.5

Таблица 1.5

Значение величины, м	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_1	1,6	1,5	1,4	1,6	1,8	1,6	1,7	1,2	1,8	1,9
h_2	2,3	2,2	2,1	2,4	2,6	2,3	2,1	2,0	1,9	2,9
h_3	1,5	1,4	1,3	1,5	1,7	1,5	1,6	1,2	1,1	1,7
h_4	2,2	2,1	2,0	2,3	2,4	2,1	2,0	1,9	1,8	2,5

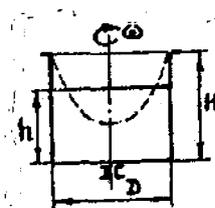


Рис. 1.6

9. 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 сосуда (рис. 1.6). Составить уравнение свободной поверхности. Данные к задаче приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Значение величины, м	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H	1,0	1,2	1,8	1,6	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	0,9
D	0,5	0,6	0,7	0,6	0,9	0,3	0,8	0,4	0,4	0,5

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

I. На схеме (рис. 2.1) показана система, состоящая из трех резервуаров № 1, 2, 3 и трубопроводов. В дне резервуара № 1 есть отверстие в тонкой стенке диаметром d_1 , а в резервуаре № 3 — d_3 . Тип отверстия d_3 указан в задании. Вода из резервуара № 1 через отверстие d_1 вытекает в резервуар № 2, из которого по системе трубопроводов диаметрами d_2 и d_3 попадает в резервуар № 3. Из резервуара № 3 вода через отверстие вытекает в лоток, размеры которого b и h . Данные к задаче приведены в табл. 2.1.

В задаче требуется определить:

расход воды Q в системе;

разность уровней в резервуарах № 1 и 3;

диаметр отверстия d_4 , через которое вытекает вода из резервуара № 3;
 уклон лотка i .
 Кроме того, нужно построить в масштабе напорную линию.

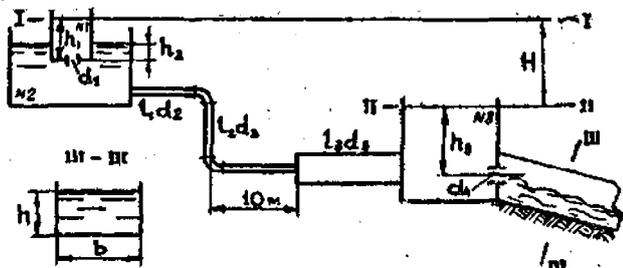


Рис. 2.1

Таблица 2.1

Значение величины	— Номер варианта										
	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9	
h_1	2,0	2,5	3,0	2,0	3,5	2,5	4,0	3,0	4,0	5,0	
h_2	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	1,5	3,0	1,0	2,0	3,0	
d_1	0,1	0,125	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,2	0,25	0,075	
l_1	10	15	20	35	40	50	20	20	60	40	
l_2	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	10	9	8	6	
d_2	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,1	
l_3	25	20	25	30	25	45	25	50	75	50	
d_3	0,125	0,175	0,15	0,25	0,15	0,25	0,3	0,25	0,3	0,15	
h_3	4,0	3,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	4,0	2,0	3,0	
Тип отверстия d_4 *	Н	В	П	В	Т	Н	В	Т	В	Н	
Состояние труб	Сталь чистые б/у	Сталь чистые новые	Сталь чистые грязные	Чугун чистые б/у	Сталь чистые новые	Сталь чистые грязные	Сталь чистые б/у	Чугун чистые новые	Сталь чистые грязные	Чугун чистые грязные	

* Тип отверстия d_4 имеет следующие обозначения: Т - отверстие в тонкой стенке; Н - внешний цилиндрический насадок; В - внутренний цилиндрический насадок.

Продолжение табл. 2.1

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Температура воды $^{\circ}\text{C}$	20	25	30	15	20	30	35	20	15	20	
b м	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	
h м	1,25	1,0	1,0	0,8	0,4	0,8	0,6	1,0	1,0	0,8	

2. Определить мгновенное повышение давления в трубе при гидравлическом ударе, если внутренний ее диаметр d , а расход воды Q . Скорость распространения ударной волны C принять равной 1200 м/с. Описать суть гидравлического удара. Данные к задаче приведены в табл. 2.2

Таблица 2.2

Значение величины	Номер варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
d м	0,2	0,15	0,2	0,25	0,15	0,075	0,1	0,1	0,2	0,15	
Q м ³ /ч	200	170	150	220	200	100	150	170	180	220	

3. Горизонтальный поршневой насос водокачки характеризуется данными, приведенными в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Значение величины	Номер варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	
Диаметр поршня D , мм	200	230	240	250	210	200	185	190	195	220	
Диаметр штока d , мм	38	40	45	45	44	36	38	40	42	40	
Ход поршня S , мм	380	400	420	440	400	390	360	370	380	400	

Продолжение табл. 2.3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Частота вращения вращающегося вала n , мин^{-1}	48	40	45	38	40	42	40	42	44	45
Напор H , атм	8	6	7	9	7,5	8,5	8	8,5	7,5	5,5
Объемный КПД насоса η_v	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,89	0,90	0,88	0,87	0,85
Общий КПД насоса η	0,90	0,89	0,88	0,88	0,86	0,90	0,92	0,90	0,89	0,88
Степень неравномерности работы воздушного колпака δ	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025

Необходимо определить: действительную подачу насоса, расход мощности на насос; объем нагнетательного воздушного колпака.

Кроме того, нужно привести схему установки насоса с воздушными колпаками с указанием необходимых контрольно-измерительных приборов и арматуры.

Литература

1. Шипченко В.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. - Киев: Техніка, 1976.
2. Угличус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. - Харьков: Изд-во Харьков. ун-та, 1970.
3. Маковозов М.И. Гидравлика и гидравлические машины. - М.: Машгиз, 1962.
4. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. - М.: Машиностроение, 1970.

5. Френкель Н.З. Гидравлика. - М.: Госэнергоиздат, 1956.
6. Знаменский Г.М. Насосы, компрессоры, вентиляторы. - Киев: Гостехиздат Украины, 1951.
7. Методические указания к выполнению расчетно-графических и курсовых работ по гидравлике для студентов всех специальностей /Сост. И.К.Мотуз. - Киев: КИИИ, 1983.
8. Цфин А.П. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод. - М.: Высш.шк., 1965.

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ			

Величина	Единица			Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
Частота	герц	Hz	Гц	s^{-1}
Сила	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд · ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$m^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	s^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грей	Gy	Гр	$m^2 \cdot s^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$m^2 \cdot s^{-2}$

Программа, методические указания
и контрольные задания
по курсу "Гидравлика, гидравлические машины
и гидроприводы"
для студентов специальности 0517
заочной формы обучения

Составители Игорь Константинович Мотуз
Виталий Николаевич Герщенко

Редактор А.П.Костина

Корректоры Н.И.Ефремова
О.В.Тимошенко
В.В.Подвальная

Полн. и печ. 701 86. Изд. № 2007. Формат 60×84/16.
Бумага тип. № 3. Печать офсетная. Физ. печ. л. 2,15. Уч.-изд. л. 1,79
Усл. печ. л. 209. Тираж 250. Зам. № 6148. Бесплатно.

КТМПП, 252601, Киев-17, Владимирская, 68.

Межвузовское полиграфическое предприятие.
252151, Киев, ул. Волинская, 60.

СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Програма, методичні вказівки і контрольні завдання до курсу «Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривода» для студентів спеціальності 0517 заочної форми навчання / Укладачі. І.К.Мотуз, В.Н.Герашенко. – К: КТІПП, 1986. – 35 с.

Предмет гідравліки і гідравлічних машин. Коротка історія розвитку. Роль російських і зарубіжних вчених в створенні сучасної механіки рідин і гідравліки. Значення гідравліки в сучасній техніці. Значення і застосування гідравліки в сучасному машинобудуванні. Перспективи її розвитку.

Ключові слова: гідравліка, рідина, статика, динаміка, режими руху, опори, трубопроводи машини

Программа, методические указания и контрольные задания по курсу «Гидравлика, гидравлические машины и гидропривода» для студентов специальности 0517 заочной формы обучения / Составители. И.К.Мотуз, В.Н.Герашенко. - К: КТИПП, 1986. - 35 с.

Предмет гидравлики и гидравлических машин. Краткая история развития. Роль русских и зарубежных ученых в создании современной механики жидкостей и гидравлики. Значение гидравлики в современной технике. Значение и применение гидравлики в современном машиностроении. Перспективы ее развития.

Ключевые слова: гидравлика, жидкость, статика, динамика, режимы движения, сопротивления, трубопроводы машины

Program, methodical pointing and control tasks on the course of «Gidravlika, hydraulic machines and гидропривода» for the students of speciality 0517 extra-mural form of teaching

/ Compilers. I.K.Motuz, V.N.Geraschenko. – K: KTIFI, 1986.
– 35 p.

Article of hydraulics and hydraulic machines. Short history of development. A role of the Russian and foreign scientists is in creation of modern mechanics of liquids and hydraulics. A value of hydraulics is in a modern technique. A value and application of hydraulics is in a modern engineer. Prospects of its development.

Keywords: hydraulics, liquid, statics, dynamics, modes of motion, resistances, pipelines, machine