

ЛЕКЦИЯ №2 ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО, ПНЕВМАТИЧЕСКОГО И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

2.1 Механика и динамика электропривода.

Уравнение движения электропривода.

Когда момент, развиваемый двигателем, равен моменту сопротивления исполнительного органа, скорость привода постоянна. Однако во многих случаях привод ускоряется или замедляется, т.е. работает в переходном режиме.

Переходным режимом электропривода называют режим работы при переходе от одного установившегося состояния к другому, когда изменяются скорость, момент и ток.

Причинами возникновения переходных режимов в электроприводах является изменение нагрузки, связанное с производственным процессом, либо воздействие на электропривод при управлении им, т.е. пуск, торможение, изменение направления вращения и т.п., а также нарушение работы системы электроснабжения.

Уравнение движения электропривода должно учитывать все моменты, действующие в переходных режимах.

В общем виде уравнение движения электропривода может быть записано следующим образом

$$\pm M \pm M_{сnp} = J_{np} \frac{d\omega}{dt}. \quad (1)$$

При положительной скорости уравнение движения электропривода имеет вид

$$M - M_{сnp} = J_{np} \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Уравнение (1) показывает, что развиваемый двигателем вращающий момент M уравнивается моментом сопротивления $M_{сnp}$ и динамическим моментом $J_{np} \frac{d\omega}{dt}$. В уравнениях (1) и (2) принято, что момент инерции привода J_{np} является постоянным, что справедливо для значительного числа исполнительных органов. Из анализа уравнения (2), видно:

1. При $M > M_{сnp}$, $\frac{d\omega}{dt} > 0$, т.е. имеет место ускорение привода;
2. $M < M_{сnp}$, $\frac{d\omega}{dt} < 0$, т.е. имеет место замедление привода (очевидно, замедление привода может быть и при отрицательном значении момента двигателя);

3. $M = M_{сnp}, \frac{d\omega}{dt} = 0$, данном случае привод работает в установившемся

режиме.

Динамический момент (правая часть уравнения моментов) проявляется только во время переходных режимов, когда изменяется скорость привода. При ускорении привода этот момент направлен против движения, а при торможении он поддерживает движение.

Активные моменты сопротивления – моменты, вызванные весом поднимаемого и спускаемого груза. В уравнении механического движения электропривода перед этим моментом всегда ставится знак (–) независимо от подъема или спуска груза.

Реактивный момент сопротивления – момент, всегда препятствующий движению электропривода и изменяющий свой знак при изменении направления движения (например, при резании металла). При положительной скорости электродвигателя перед этим моментом в уравнении механического движения электропривода необходимо ставить знак (–), а при обратном движении знак (+).

За положительное направление вала двигателя принимается вращение по часовой стрелке. Если временной момент на валу двигателя направлен в эту сторону, то ему приписывают знак (+). При обратном направлении движения – знак (–). В тормозных режимах двигателя знаки перед вращающимся моментом двигателя и угловой скоростью противоположны.

Механическая часть электропривода может быть сложной и представлять кинематическую цепь с большим числом движущихся элементов (шестерни, соединительные муфты, тормозные шкивы, барабаны, поворотные платформы, линейный стол, поднимаемые грузы и т.д.). Движение одного элемента дает полную информацию о движении всех остальных элементов. Обычно в качестве такого элемента принимают вал двигателя, приводя к нему моменты и усилия сопротивления, а также моменты инерции и массы.

В результате такого приведения реальная кинематическая схема заменяется расчетной энергетически эквивалентной схемой. Это позволяет наиболее точно исследовать характер движения привода и режим его работы, точнее формировать законы движения. Покажем такое приведение на примере схемы механической части электропривода подъемной лебедки (рисунок 2.1).

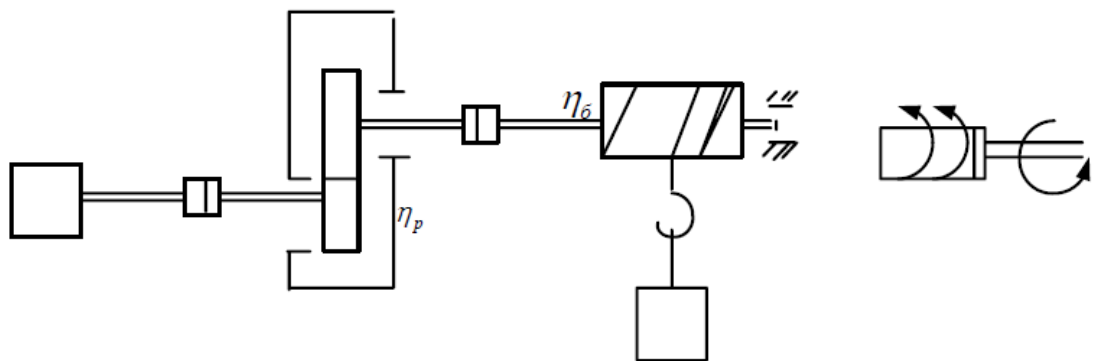


Рисунок 2.1 – Схема механической части электропривода

На основании вышеизложенного запишем в окончательном виде формулы приведенных к валу электродвигателя параметров исполнительных органов [1,2]. **Примем следующие допущения: система жесткая, без зазоров.** При прямом потоке энергии в механической части (подъем груза)

$$M_{сп} = \frac{M_{с.мо}}{i_p \eta_n}$$

При обратном потоке энергии в механической части (опускание груза)

$$M_{сп} = \frac{M_{с.мо} \eta_n}{i_p}$$

Во всех элементах, приборах и системах пневмоавтоматики рабочей средой чаще всего является предварительно сжатый в компрессоре воздух (в некоторых особых случаях применяют другие газы), который окружает нас в повседневной жизни.

Основные параметры газа

Давление. Если некоторое внешнее усилие воздействует на какой-либо замкнутый объем воздуха через подвижной элемент, например, поршень, то в воздухе создается внутреннее давление, равномерно действующее на все поверхности, ограничивающие этот объем (рисунок 2.2).

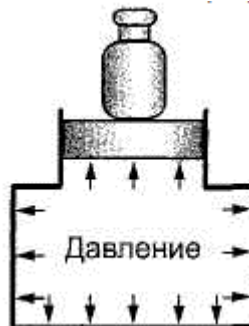


Рисунок 2.2 – Распределение давления

Значение внутреннего давления не зависит от формы объема, занимаемого воздухом, и определяется как результат деления модуля внешней силы на площадь поперечного сечения поршня:

$$P = \frac{F}{S}.$$

В международной системе единиц СИ единицей измерения давления будет Н/м². Эта единица носит название паскаль и обозначается Па.

Однако на практике следует применять единицу измерения паскаль [Па], а также производные от нее, такие как килопаскаль [кПа], мегапаскаль [МПа] и т. п.; в виде исключения используют бар [бар]:

$$1 \text{ бар} = 105 \text{ Па} = 102 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}.$$

Давление атмосферного воздуха на находящиеся в нем предметы и на земную поверхность называют атмосферным давлением и обозначают $P_{\text{атм}}$.

Основные физические свойства газов

Сжимаемость. Свойство газа изменять объем под действием давления называют сжимаемостью. Сжима-емость характеризуется коэффициентом объемного сжатия β , который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу давления:

$$\beta_p = -\frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Знак «минус» в формуле обусловлен тем, что положительному приращению (увеличению) давления соответствует отрицательное приращение (уменьшение) объема V .

Величина, обратная коэффициенту β , носит название объемного модуля упругости (модуля сжимаемости).

Температурное расширение. Температурное расширение характеризуется коэффициентом объемного расширения β_t , который представляет собой относительное изменение объема при изменении температуры на 1 К

$$\beta_t = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Вязкость. Свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление сдвигу (скольжению) слоев жидкости или газа называют вязкостью. Вязкость — свойство противоположное текучести (степени подвижности частиц жидкости или газа):

Вязкость может быть охарактеризована коэффициентами динамической вязкости j_i и кинематической вязкости ν .

Единицей измерения коэффициента динамической вязкости j_i , или коэффициента внутреннего трения, является паскаль-секунда [Па-с]. Используется также единица измерения пуаз [П] системы единиц СГС: 1 П = 0,1 Па-с. Единицей коэффициента кинематической вязкости ν служит м²/с; применяют также единицу СГС стоке [Ст]: 1 Ст = 1 СИ м²/с.

Вязкость зависит от температуры (рисунок 2.3), причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен: вязкость жидкостей с увеличением температуры уменьшается, тогда как вязкость газов, наоборот, увеличивается (для воздуха данная зависимость незначительна).

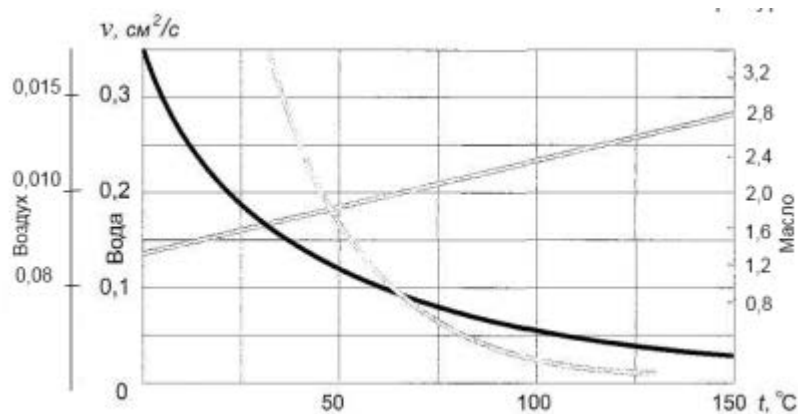


Рисунок 2.3 – Зависимость кинематической вязкости от температуры

Основные газовые законы.

Состояние газа характеризуется тремя основными параметрами — абсолютным давлением, абсолютной температурой и плотностью (удельным объемом). Взаимосвязь этих параметров газа именуют уравнением состояния. Состояние газа, называемого идеальным, описывается уравнением Клапейрона — Менделеева

$$P = \rho RT$$

где P — абсолютное давление, $\text{Н}/\text{м}^2$;

ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

R — удельная газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; обычно для воздуха $R = 287$ $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

T — абсолютная температура, К .

Идеальным газом называют такой газ, в котором отсутствуют силы взаимодействия между молекулами, считающимися материальными точками, не имеющими объема. Несмотря на то что воздух не является идеальным газом, для большинства газовых процессов, протекающих при давлениях, не превышающих 20 МПа (200 бар), это уравнение остается в достаточной мере справедливым.

Введя в данное уравнение формулу, определяющую плотность через массу и объем, получим соотношение, которое описывает состояние m килограммов идеального газа объемом V :

$$mRT = pV$$

Нетрудно заметить, что для какой-либо постоянной массы газа левая часть уравнения есть величина неизменная (константа):

$$pV = \text{const}$$

Данное уравнение обобщает основные газовые законы: Бойля — Мариотта, Шарля и Гей-Люссака.

Закон Бойля-Мариотта. Если абсолютная температура газа остается постоянной, то произведение абсолютного давления газа на его объем есть также величина постоянная для данной массы газа; иными словами, давление газа обратно пропорционально его объему (рисунок 2.4).

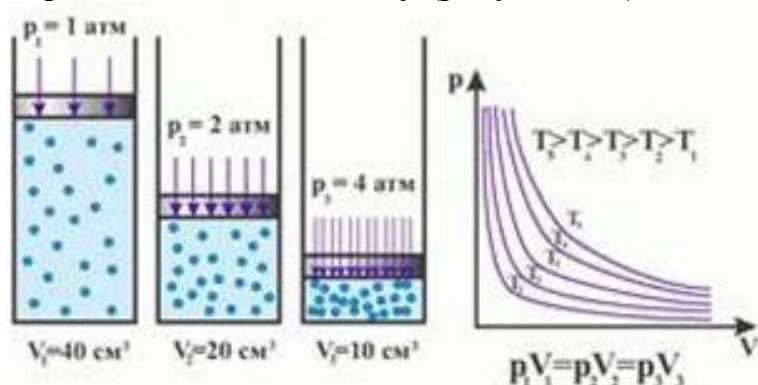


Рисунок 2.4 – Закон Бойля-Мариотта

Подобные процессы (протекающие при постоянной температуре) называют **изотермическими** - абсолютная температура рабочего тела в системе постоянна.

Процессы, при которых полностью исключается подвод и отвод тепла к термодинамической системе носят название **адиабатных** процессов.

Закон Шарля. Если замкнутый объем данной массы газа остается постоянным, то отношение абсолютного давления газа к его абсолютной температуре есть также величина постоянная; иными словами, давление газа прямо пропорционально его температуре.

Например, при нагревании газа в замкнутом объеме его давление возрастает, а при охлаждении, наоборот, падает (рисунок 2.5)

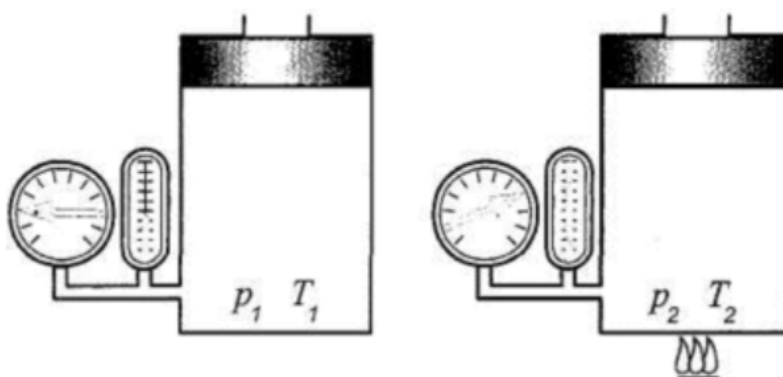


Рисунок 2.5 – Закон Шарля

Закон Гей-Люссака. Если абсолютное давление газа остается постоянным, то отношение объема данной массы газа к его абсолютной температуре есть также величина постоянная; иными словами, объем прямо пропорционален температуре.

Например, при нагревании газа, находящегося под постоянным давлением, его объем увеличивается, а при охлаждении — уменьшается (рисунок 2.6).

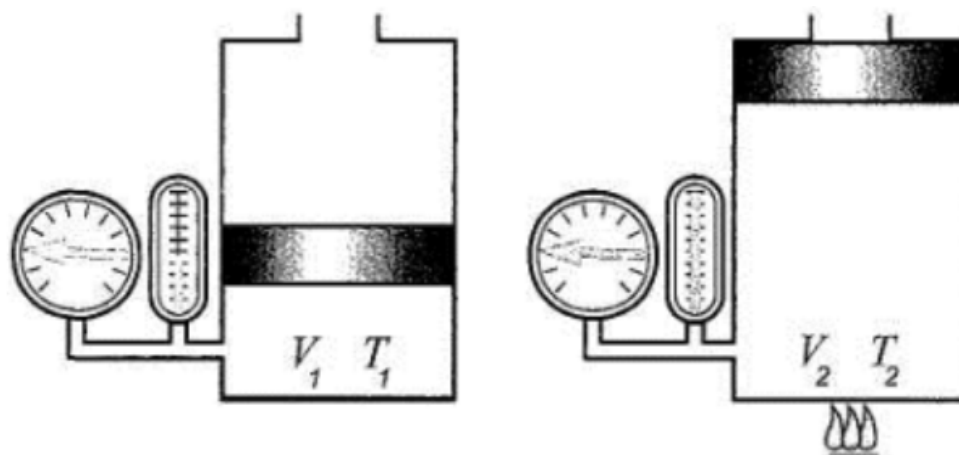


Рисунок 2.6 – Закон Гей-Люссака

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Работа гидравлического привода связана с гидродинамикой.

Гидродинамика – раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкости и ее взаимодействие с неподвижными и подвижными поверхностями.

При изучении движения жидкости гидродинамика использует метод Л. Эйлера, согласно которому движение отдельных частиц жидкости и потока в целом рассматривается относительно неподвижных точек пространства, занятого движущейся жидкостью.

При теоретических исследованиях гидродинамика использует свойства идеальной жидкости. Решения, полученные для идеальной жидкости, распространяются на реальную жидкость, а в аналитические зависимости вносят поправочные коэффициенты, полученные экспериментальным путем и которые учитывают влияние на движение свойств реальных жидкостей.

Различают установившееся и неустановившееся движения жидкости.

Установившееся движение – это такое движение, когда скорость и давление в любой точке движущейся жидкости не изменяются во времени, а зависят только от местонахождения точки в пространстве:

$$v = f_1(x, y, z) \quad p = f_2(x, y, z)$$

Примерами установившегося движения жидкости являются истечение жидкости через отверстие в резервуарах при постоянном уровне течения в нефтепроводах при неизменном характере работы потребителей; движение жидкости в нагнетательной и всасывающей линиях центробежного насоса при постоянном числе оборотов привода и неизменных сопротивлениях в линиях.

Неустановившееся движение – это такое движение, когда скорость и давление в каждой точке изменяются с течением времени, т. е. являются функциями координат и времени

$$v = f_1(x, y, z, t) \quad p = f_2(x, y, z, t)$$

В этом случае скорость и давление зависят не только от их местонахождения в пространстве, но и от времени. Примерами неустановившегося движения жидкости являются опорожнение и заполнение резервуаров, трубопроводов, течение в трубопроводах при остановке, при запуске насосов, при открытии или закрытии запорной арматуры и др.

Уравнение Бернулли устанавливает связь между давлением, скоростью и геометрической высотой в различных сечениях, является основным уравнением практической гидродинамики (рисунок 2.7).

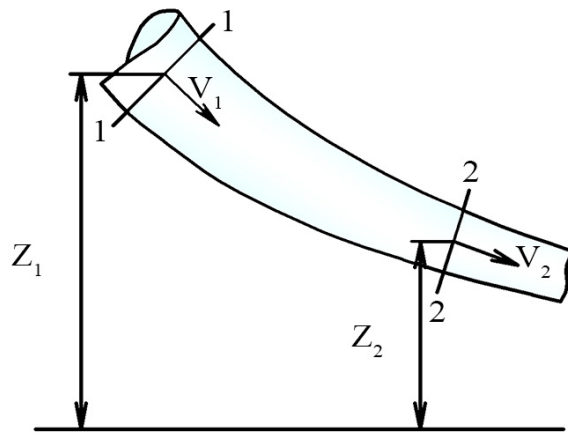


Рисунок 2.7 – Течение жидкости

$$z_1 + (p_1/\rho g) + (V_1^2/2g) = z_2 + (p_2/\rho g) + (V_2^2/2g)$$

где z - геометрическая высота,
 p - давление в выбранном сечении,
 V - скорость жидкости в выбранном сечении,
 ρ - плотность жидкости,
 g - ускорение свободного падения.

Указанное уравнение называют законом или уравнением Бернулли для элементарной струйки идеальной несжимаемой жидкости.

Для каждого рассматриваемого сечения полный напор есть сумма геометрического, пьезометрического и скоростного напора. Для идеальной жидкости (т.е. при отсутствии потерь энергии) полный напор - величина постоянная.

$$z + p/\rho g + V^2/2g = H = const$$

где z - геометрический напор,
 $p/\rho g$ - пьезометрический напор,
 $z + p/\rho g$ - статический напор,
 $V^2/2g$ - скоростной напор,
 $z + p/\rho g + V^2/2g = H$ - полный напор.

Физический и энергетический смысл уравнения Бернулли заключается в постоянстве полной удельной энергии вдоль элементарной струйки идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли отражает закон сохранения механической энергии для идеальной несжимаемой жидкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: КолосС, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз.–ISBN 978-5-9532-0540-5

2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов /Н.Ф Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз.– ISBN 978-5-383-00001-4