

## Лекция №16 Роторно-пластинчатые гидромашины

Пластинчатая (шиберная) ГМ (гидромотор или насос) – это роторная ГМ с подвижными элементами в виде ротора, совершающего вращательное движение, и пластин (шаберов), совершающих вращательное и возвратно поступательное движение. При этом вытесняемые объемы замыкаются между двумя соседними вытеснителями (пластинами, помещенными в радиальные прорезы вращающегося ротора) и поверхностями статора.

По числу циклов работы за один оборот вала различают ПГМ однократного или многократного (двух-, трех-, четырехкратного) действия. Насосы однократного действия выполняют как регулируемые, так и нерегулируемые, а насосы многократного — нерегулируемые.

Наиболее простым насосом пластинчатого типа является насос с двумя пластинами 3 и 5, подвижно монтируемыми в общем сквозном радиальном пазу ротора 7. Эти пластины образуют с поверхностями ротора 7 и смещённого относительно него на величину  $e$  статора 1 с осью  $O_2$  две серпообразные камеры а и б.

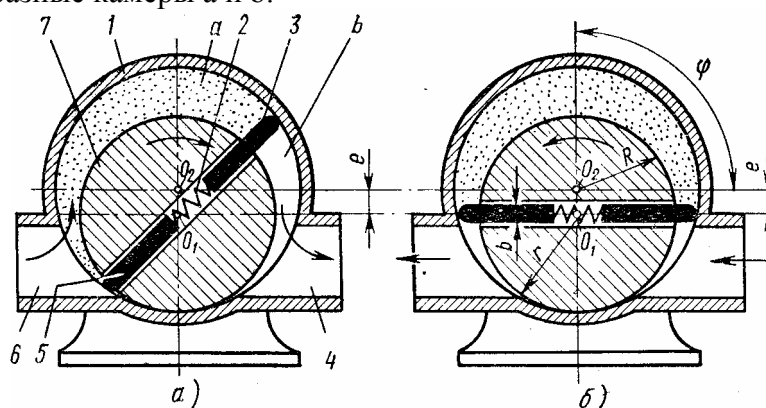


Рис 16.1 Принципиальная (а) расчетная (б) схемы двухпластинчатого насоса

При повороте ротора 7 относительно оси  $O_1$  в направлении стрелки, объем камеры а насоса, соединенного с всасывающей полостью б, увеличивается, а камеры б, соединенная с нагнетательной полостью 4, уменьшается, в соответствии с чем происходит всасывание (через канал б) и нагнетание (через канал 4) жидкости. Поскольку ротор имеет плотный контакт с нижней частью статора 1, одна из пластин 3 или 5 в любом положении ротора отделяет всасывающую полость от нагнетательной. Для возможности радиального перемещения пластин и обеспечения контакта (плотного) со статором, пластины распираются пружиной 2, поджатого к статору 1.

Расчетная подача такого насоса определяется площадью, ограниченной пластинами, статором и ротором. Для случая угла  $\varphi = \pi/2$  и принимая пластины бесконечно тонкими ( $b=0$ ) площадь  $S$  находим как

$$S = \frac{\pi}{2}(R^2 - r^2 - e^2) + 2 \cdot R \cdot e \quad (16.1)$$

где  $R$  и  $r$  – радиусы статора и ротора  
 $e$  – эксцентриситет.

За каждый оборот вытесняется два объема соответствующих этой площади, следовательно, теоретическая подача для ПГМ с бесконечно тонкими пластинами:

$$Q_T = 2 \cdot B \cdot S \cdot n = 2 \cdot B \cdot n \cdot \left[ \frac{\pi}{2} \cdot (R^2 - r^2 - e^2) + 2 \cdot R \cdot e \right] \quad (16.2)$$

где  $B$  – ширина ротора  
 $n$  – частота вращения вала

Учтем объем, занимаемый пластинами, он равен  $q' = 4Vebn$ , где  $b$  – толщина пластины. Тогда:

$$Q_T = Bn \left[ \frac{\pi}{2} (R^2 - r^2 - e^2) + 2e(R - b) \right] \quad (16.3)$$

Поскольку текущая площадь значительно изменяется по углу поворота, то переменной по углу поворота ротора является так же подача. Пульсация ограничивает область применения данных машин - в основном, для вспомогательных целей (смазка, подпитка и т.п.).

Для снижения пульсации подачи применяются насосы с несколькими пластинами. Обычно 8-12. При этом уменьшается действующая на пластины тангенциальная нагрузка.

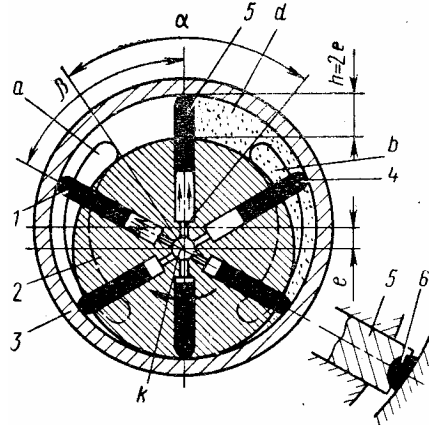


Рис.16.2 Схема многопластинчатого насоса с гидравлическим поджимом пластин.

Насос состоит из вращающегося ротора 2, в радиальных прорезах которого помещены пластины (вытеснители) 1, и статорного кольца 3, ось которого смещена относительно оси ротора на величину  $e$ .

Питание осуществляется через серпообразное окно  $a$  (для данного направления вращения), вытеснение через окно  $b$ . Окна выполнены на боковых крышках насоса.

При данном направлении вращения полость между 4 и 5 пластинами уменьшается.

Окна располагаются таким образом, чтобы при любом положении ротора между ними находилась хотя бы одна пластина. Обычно применяют положительное перекрытие (полость между пластинами отсечена, изолирована от окон), но такое, чтобы избежать компрессии. Полное устранение компрессии при  $\alpha = \beta$  (нулевое перекрытие,  $\alpha$ - угол между окнами всасывания и нагнетания;  $\beta$ - угол между двумя смежными пластинами).

Плотность контакта пластин со статором достигается при помощи пружин и прочих механических средств, давлением жидкости и/или канал  $h$  на рис 16.2

#### Расчетная производительность.

Допуская, что толщина пластин  $b=0$  и пренебрегая изменением рабочей высоты  $h$  (принимая  $h=2e$ ) при повороте ротора на угол  $\alpha$  (в пределах которого пластина находится в контакте с верхней перемычкой) максимальную расчетную подачу можно выразить как:

$$Q_T = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h \cdot B \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot B \cdot e \cdot n = \omega \cdot \rho \cdot h \cdot B \quad (16.4)$$

где  $D$ - Диаметр расточки статора

$B$  – ширина ротора (длина пластины);

$\omega=2\pi n$ -угловая скорость;

$\rho=D/2$  - расстояние от центра давления рабочей высоты пластины до оси вращения ротора.

$n$  – число оборотов

С учетом толщины  $s$  и числа  $z$  пластин средняя теоретическая подача определяется как:

$$Q_T = 2 \cdot B \cdot e \cdot n \cdot (\pi \cdot D - z \cdot s) \quad (16.5)$$

Снижение производительности происходит из за необходимости компенсации объема пластин при утапливании их в прорези ротора.

В некоторых насосах полости прорезей под пластинами последовательно соединяют с нагнетательной и всасывающей линиями – дополнительная подача прямоугольными поршнями.

$$Q_T = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot B \cdot e \cdot n \quad (16.6)$$

При одностороннем вращении ротора насоса пластины целесообразно устанавливать под некоторым ( $10^0$ - $15^0$ ) углом к радиусу, благодаря чему улучшаются условия их работы (уменьшается заклинивание пластин в пазу). Силы трения вызывают минимальные изгибающие напряжения (угол наклона = углу трения). В этом случае (когда имеются наклон и нет дополнит. подачи)

$$Q_T = 2 \cdot B \cdot e \cdot n \cdot \left( \pi \cdot D - \frac{z \cdot S}{\cos \alpha} \right) \quad (16.7)$$

$\alpha$  - угол наклона пластин к радиусу;

Рис.16.3                      Схема нереверсивного пластичного насоса

### Равномерность подачи

При расчетах было принято допущение, что рабочая высота  $h$  пластины при проходе ею всего участка переменного радиуса равна  $2e$ . В действительности, это справедливо лишь для мгновенного (среднего) положения. В общем случае текущее значение  $h'$  описывается выражением:

$$h' = \rho - (R - e) \quad (16.8)$$

$R$ - радиус статора,

$e$ - эксцентриситет (см. рис 16.2)

Кинематика ПГМ построена как и кинематика поршневых – на основе кривошипно шатунного механизма. При этой кинематике перемещение рабочего элемента соответствует приращению переменного радиуса в пределах от  $\rho_{\min}$  до  $\rho_{\max}$ , (представляет собой расстояние от оси, проходящей через центр  $O$  пластичного ротора, до окружности касания пластин со статором)

$$\rho = R \cos \gamma + e \cos(180 - \gamma) = R \cos \gamma - e \cos \varphi \quad (16.9)$$

$$R' = R \cos \lambda - e \cos \varphi - (R - e) = e(1 - \cos \gamma) + R(\cos \gamma - 1)$$

$\gamma$ - угол (текущей) между центром статора  $O$ , точкой касания  $e$  и осью вращения ротора.

$\gamma = \omega t$ - текущий угол поворота ротора от нейтральной (вертикальной) оси.

Учитывая, что  $e/R$  относительно мало, угол  $\gamma \approx 0$ , а  $\cos \gamma = 1$ , допустимо применять выражение.  $R' = e(1 - \cos \varphi)$ . Следовательно, как и у роторно-поршневых ОГМ, подача изменяется по синусоидальному закону.

Пульсация подачи тем меньше, чем меньше значение  $2\pi/z$  (нечетном числе пластин равномерность повышается), но увеличение числа пластин снизит величину подачи (16.5-габариты пластин)

Для снижения перепадов подачи, обусловленных изменением рабочей высоты пластины, применяют профилирование направляющей статора на участке между всасывающим и нагнетательным окнами по окружности, описываемой из центра вращения ротора.

Равномерность подачи нарушается так же тем, что часть вытесняемой жидкости расходуется на комплексацию ее сжатия до рабочего давления в камерах при проходе их из полости всасывания в полость нагнетания. При этом обратный поток из полости нагнетания вызовет высокие «забросы» давления в камере и пульсации давления на выходе насоса.

Эти колебания подачи и ударные явления (обусловленные обратным потоком из полости нагнетания в камеру) можно частично снизить выполнением на перевальной перемычке щелевидных прорезей малого сечения – достигается плавное соединение камер и полости нагнетания.

### Нагрузка пластин.

В большинстве конструкций пластины прижимаются к статору давлением жидкости, подведенной под ее торец. Усилие прижатия в этом случае

$$F = pbs, \quad (16,11)$$

где  $p$  - давление жидкости в камере под нижним торцом;  
 $b$  и  $s$  - длина и толщина пластины.

Пластины, находящиеся в полости нагнетания, будут полностью разгружены от радиальных сил давления жидкости. А пластины между полостями  $a$  и  $b$  - частично.

При расчетах нагрузки от давления жидкости силу  $F$  принимают  $F = 1/3 * pbs$ .  
 Регулирование производительности и изменение направления подачи осуществляется соответствующим изменением величины и знака эксцентриситета  $e$ .

Основной недостаток насосов однократного действия - большая нагрузка давления жидкости на ось ротора и на пластины, (отсюда область применения гидросистемы с давлением до 4-5 МПа)

Для регулируемых машин также трудности вызывает герметизация со стороны торцов вытеснителей.

По этому в практике распространены нерегулируемые пластинчатые насосы двукратного (и реже, - четырехкратного) действия, обладающие более высоким рабочим объемом и КПД.

Преимуществом является уравновешенность радиальных сил давления жидкости на пластинчатый ротор.

Благодаря этому пригодны для работы при более высоком (у насосов однократного действия) давлении (14 МПа и выше)

Насос двукратного действия фактически состоит из двух насосов, размещенных в одном корпусе.

Насос состоит из корпуса 10, в котором выполнены каналы (2) и окна (3,6,7,9) питания (боковые диски) и статор 5, поверхность которого фасонной формы (профиле) выполнена так, что участки кривой, расположенные между окнами питания (3,6,7,9), являются дугами кругов, описанные из центра ротора, а участки, приходящиеся на эти окна, выполнены сопрягающимися кривыми.

На валу насоса находится ротор 1, в пазах которого помещены пластины 4, при вращении ротора без давления или при малом давлении жидкости пластины 4 прижимаются к поверхности статора 5 под действием центробежной силы, при наличии давления на пластину дополнительно действует сила давления жидкости, которая подводится через кольцевую проточку 8 под торцы пластины. Из приведенной схемы следует, что при вращении ротора пластины, копируя форму статора, дважды увеличивают за один оборот объем камеры (двойная штриховка) и дважды его уменьшают.

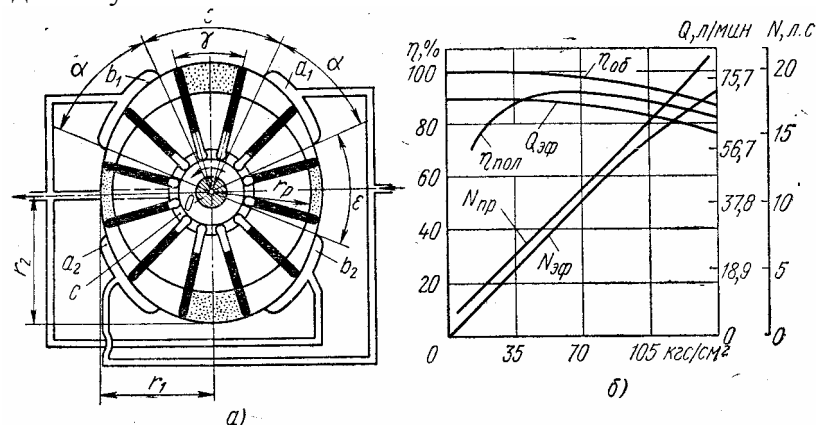


Рис.16.4 а)расчетная схема пластинчатого насоса; б)его характеристика

Благодаря концентричности межоконных участков кривых статора относительно центра вращения ротора практически устраняется компрессия жидкости при проходе этих участков пластинами и уменьшается износ т.к. не происходит перемещения пластин в пазах.

Участки, сопрягающие концентрические, обычно выполняют так, чтобы было обеспечено постоянное ускорение пластин при движении в пазах ротора и соответственно постоянное ускорение жидкости в каналах.

Обычно – по архимедовой спирали:

$$\rho = r_1 + \frac{\sigma}{\omega} \varepsilon \quad \text{ё} \quad (16.12)$$

$\rho$  и  $\alpha$ - полярные координаты профиля;  $r_1$ - наименьший радиус направляющей;  $v=const$  – скорость перемещения пластины в роторе;  $\omega$ - угловая скорость ротора. Соотношение радиусов профиля статора  $r_2/r_1$  для числа пластин  $z$

$z$	8	12	16
$r_2/r_1$	1,15	1,27	1,34

Необходимо обеспечение условия  $\frac{l_1}{l_2} \leq 0,92$

$l_1$ - наибольшая длина, выступающая из ротора,  $l_2$  - наименьшая длина, находящаяся в пазу.

Для полной уравновешенности радиальных сил давление жидкости на ротор число камер (число пластин) должно быть четным.

Производительность (без учета толщины) приближенная:

$$Q = 10B(r_2^2 - r_1^2) = 2\pi n B(r_2^2 - r_1^2)$$

С учетом толщины:

$$Q = 2Bh \left[ \pi(r_2^2 - r_1^2) - \frac{(r_2 - r_1)bZ}{\cos \alpha} \right]$$

$\alpha$  - угол наклона пластины и ротору (нереверсивные)

$13^0$ - $15^0$  -  $\varnothing 56 \div 85$  мм

$7^0$ - $8^0$  -  $\varnothing 140$  мм

Разгрузка пластин:

Для уменьшения силы давления пластины статорное кольцо ее разгружают путем размещения в каждом пазу ротора двух свободно посаженных пластин, скошенные концы которых, прилегающие к статорному кольцу по двум кромкам, образуют с ним замкнутую камеру. Эта камера соединяется каналом малого сечения с плоскостью под пластиной.

Срок службы несколько тысяч часов.

Давление при последовательном подключении  $2^x$  на 140 атм.  $\rightarrow$  до 220 атм., общий КПД 0,85 (для насоса средней мощности).

Число оборотов: для большей мощности 500 об/мин и P – до 140 атм.

Для малой и средней мощности 1500 – 3000 об/мин (расход до 900 л/мин)

Миниатюрные для ракетных установок 30000 об/мин – 1л/мин

Гидромоторы

Однократного действия:  $M_T = pf\rho = \frac{pQ_T}{2\pi n}$

$F = h \bullet B$  – рабочая толщина пластины

$$\rho = \frac{D}{2}$$

Двухкратного действия:  $M_T = pB(r_2^2 - r_1^2)$  - без учета толщины

$$M_T = \frac{pB}{\pi} \left[ (r_2^2 - r_1^2) - (r_2 - r_1)bZ \right]$$