

## НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ.

**Основные определения.** Насосным агрегатом называют агрегат, состоящий из насоса (нескольких насосов) и приводящего двигателя, соединенных между собой. По виду приводящего двигателя насосные агрегаты подразделяют на электронасосные, турбонасосные и др.

Насосной установкой называют насосный агрегат с комплектующим оборудованием, смонтированным по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса. В состав насосных установок входят гидробаки, кондиционеры и другие гидроустройства. Очень часто вместо термина «насосная установка» используется термин «питающая установка».

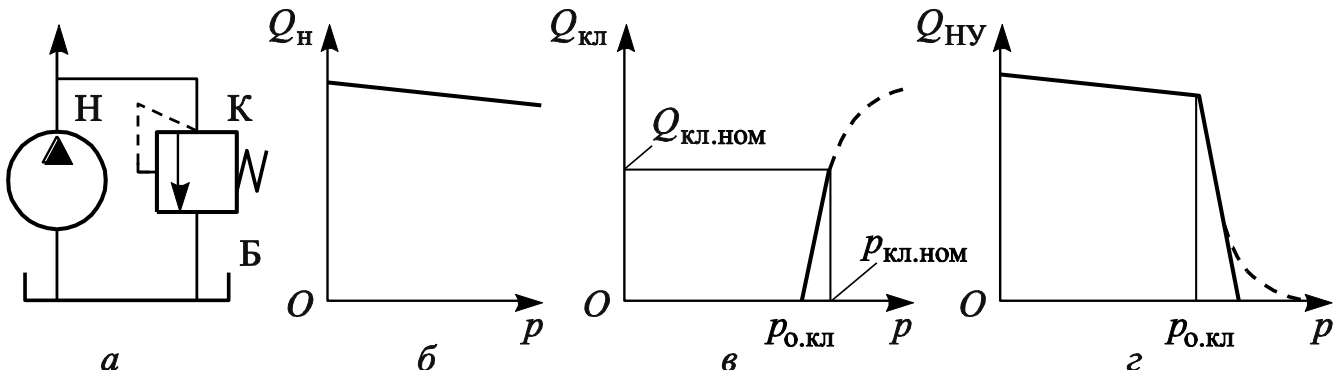
Насосной станцией гидропривода называют совокупность насосной установки с гидроаппаратами, управляющими движением выходных звеньев объемных гидродвигателей. Понятие «насосная станция» шире понятия «насосная установка».

В схемах гидроприводов с разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости в качестве источника механической энергии потока рабочей жидкости используются насосные установки с нерегулируемыми и регулируемым насосами объемного типа.

Для защиты насоса от перегрузок обязательна установка на гидролинии нагнетания насоса предохранительного гидроклапана.

**Насосные установки с нерегулируемым насосом.** Применение нерегулируемого насоса дает экономический эффект при проектировании гидропривода – нерегулируемый насос в несколько раз дешевле регулируемого. При эксплуатации же расходы больше.

Рабочая характеристика насосной установки (НУ) (рис. 7.35, а) с нерегулируемым насосом (рис. 7.35, з) может быть получена вычитанием из рабочей характеристики нерегулируемого насоса (рис. 7.35, б) характеристики напорного гидроклапана (рис. 7.35, в), т. е.  $Q_{НУ} = Q_{Н}$  при  $0 < p < p_{0.кл}$  и  $Q_{НУ} = Q_{Н} - Q_{кл}$  при  $p_{кл.ном} \geq p_{0.кл}$ .



**Рис. 7.35.** Схема (а) и рабочие характеристики (б–г) насосной установки с нерегулируемым насосом

В диапазоне  $p_{кл.ном} > p_{0.кл}$  предохранительный гидроклапан работает как переливной.

С учетом того, что номинальный расход предохранительного гидроклапана  $Q_{кл.ном} = 0,3Q_{Н}$ , при  $Q_{кл} > 0,3Q_{Н}$  характеристика гидроклапана может принять форму параболы (см. штриховую линию на рис. 7.35, в), а рабочая характеристика насосной установки может принять форму гиперболы (см. штриховую линию на рис. 7.35, г).

**Такой гидроклапан может не защитить, а разрушить систему, поэтому следует устанавливать переливной гидроклапан с характеристикой  $Q_{кл.ном} = Q_{Н}$ .**

При неработающих потребителях гидросистемы вся подача насоса проходит через гидроклапан, т. е. вся энергия потока рабочей жидкости переводится в теплоту.

**Для повышения экономичности работы насосной установки в таких случаях осуществляют разгрузку насоса, т. е. обеспечивают ее работу при минимальном давлении, что достигается установкой направляющего гидрораспределителя в гидролинию нагнетания или гидролинию управления переливного гидроклапана непрямого действия (рис. 7.36).**

При включении гидрораспределителя (Р) (рис. 7.36, а) жидкость сливается из управляющей гидролинии переливного гидроклапана и гидроклапан К1 открывается, пропуская жидкость без значительных потерь

энергии. При работе схемы, изображенной на рис. 7.36, б, жидкость из гидрочасти нагнетания непосредственно через гидрораспределитель Р сливается в гидробак Б.

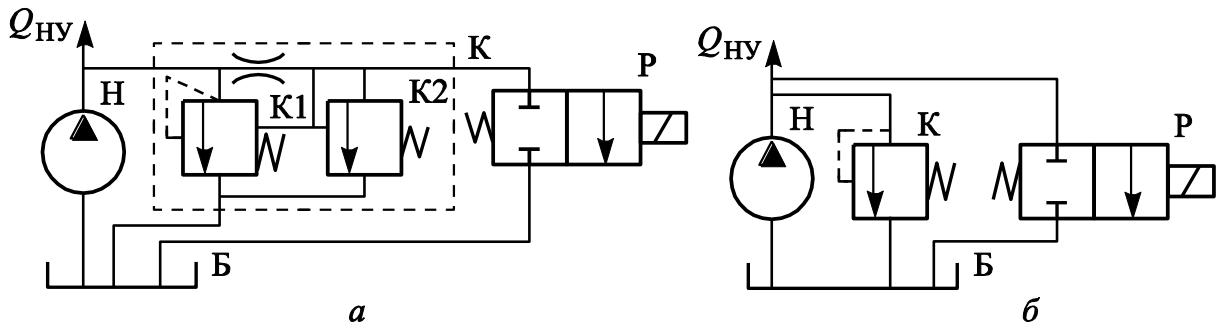


Рис. 7.36. Схемы разгрузки насосных установок с переливным гидроклапаном непрямого (а) и прямого (б) действия и направляющим гидрораспределителем

Функцию разгрузки насоса иногда поручают основному рабочему гидрораспределителю (рис. 7.37), который в нейтральном положении обеспечивает слив рабочей жидкости в гидробак через проточный канал гидрораспределителя.

Такой гидрораспределитель называют гидрораспределителем с «открытым центром».

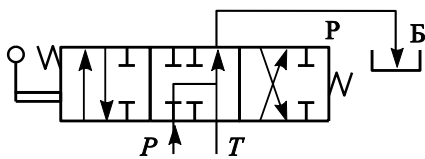


Рис. 7.37. Схема установки гидрораспределителя с «открытым центром»

Изменение подачи насосной установки можно производить ступенчато и непрерывно.

Для ступенчатого изменения подачи необходимо соединить два установленных параллельно нерегулируемых насоса с разными подачами (рис. 7.38, а) так, чтобы получить три значения подачи:  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_1 + Q_2$ .

Обратные клапаны (ОК1) и (ОК2) дают возможность независимой разгрузки насосов с помощью гидрораспределителя Р.

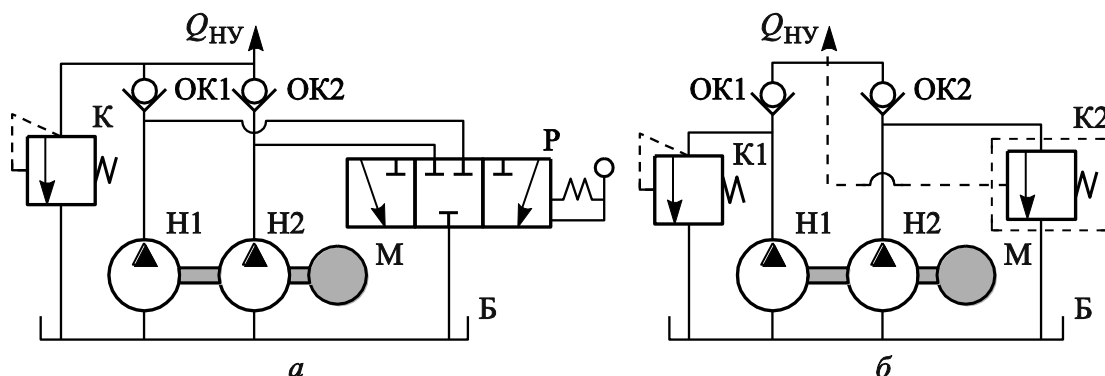


Рис. 7.38. Схемы насосных установок со ступенчатым изменением подачи: с помощью направляющего гидрораспределителя (а) и предохранительных гидроклапанов (б)

В случае если в соответствии с рабочим циклом гидропривода требуется перемещение исполнительного органа с большой скоростью при малой нагрузке и затем движение с малой скоростью при большой нагрузке целесообразно использовать насосную установку, включающую насосы высокого Н1 и низкого Н2 давления (рис. 7.38, б).

Насосы Н1 и Н2 обеспечивают требуемую подачу при малой нагрузке (малое давление). Насос Н1, например, обеспечивает требуемую подачу при большем давлении, а насос Н2 защищен с помощью обратного гидроклапана ОК2 от повышенного давления в линии нагнетания при большой нагрузке и вся его подача сливается в гидробак через предохранительный гидроклапан К2.

В многопоточных насосных установках на каждом потоке следует устанавливать свой предохранительный гидроклапан.

При объединении потоков на каждом потоке до точки соединения для исключения взаимовлияния следует устанавливать обратные гидроклапаны, как это сделано в предыдущих схемах (ОК1 и ОК2).

Для поддержания в системе максимального давления в диапазоне  $p_1 \dots p_2$  при выключенном или разгруженном насосе в схеме насосной установки применяют пневмогидроаккумулятор давления (рис. 7.39).

По достижении заданного давления по сигналу датчика давления (ДД) или какого-либо другого сигнально-измерительного прибора может произойти отключение двигателя насоса или с помощью направляющего гидрораспределителя – разгрузка насоса.

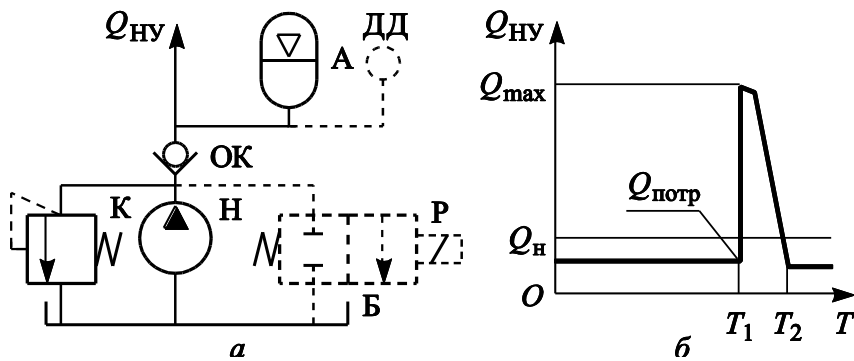


Рис. 7.39. Схема (а) и рабочая характеристика насосной установки с пневмогидроаккумулятором (б)

При проектировании циклических гидроприводов, в рабочем цикле которых за время  $(T_2 - T_1)$  необходимо совершить работу с большими расходами  $Q_{HY} \gg Q_H$  в момент времени  $T_1$ , следует применять сочетание нерегулируемого насоса и пневмогидравлического аккумулятора без установки специального гидрораспределителя.

Объем рабочей жидкости при зарядке аккумулятора в течение времени  $T_1$  равен

$$(Q_H - Q_{потр})T_1,$$

где  $Q_H$  – подача насоса;  $Q_{потр}$  – расход потребителя при работе привода во время зарядки аккумулятора;  $T_1$  – время зарядки аккумулятора.

Объем рабочей жидкости при разрядке аккумулятора равен  $\int_{T_1}^{T_2} (Q_{HY} - Q_H) dt$ .

Выполнение условия равенства объемов рабочей жидкости при зарядке и разрядке позволяет определить необходимые параметры подачи насосной установки. Такая схема насосной установки может обеспечить работу привода с внезапным увеличением скоростей движения исполнительных двигателей, т. е. при  $Q_{HY} > Q_H$ .

При необходимости получения от одного нерегулируемого насоса нескольких потоков с различными параметрами на соответствующих потоках устанавливают регуляторы (ограничители) расхода и редуционные гидроклапаны.

Изменение подачи насосной установки с одним нерегулируемым насосом можно осуществлять с помощью регулятора расхода  $PP$  и переливного гидроклапана  $K$  (рис. 7.40). Подача насосной установки определяется настройкой дросселя  $Др$  регулятора расхода  $PP$ , т. е.

$$Q_{HY} = Q_{PP} = Q_{др} = \mu S_{др} \sqrt{2\Delta p_{др} / \rho} = \sigma_{др} \sqrt{\Delta p_{др}},$$

где  $S_{др}$  – площадь рабочего проходного сечения дросселя;  $\Delta p_{др}$  – перепад давления на дросселе  $Др$  регулятора расхода;  $\sigma_{др} = \mu S_{др} \sqrt{2/\rho}$  – проводимость дросселя.

Давления  $p_{потр} < p_H$  и  $p_H = p_{кл}$  при подаче  $Q_{HY} = Q_H - Q_{кл}$ .

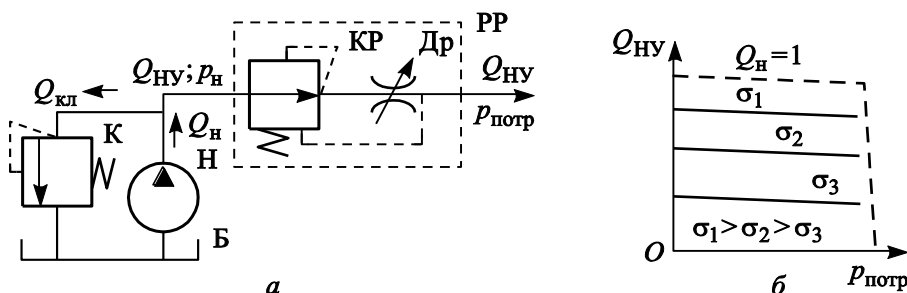


Рис. 7.40. Схема (а) и рабочая характеристика (б) насосной установки с регулятором расхода

**Насосные установки с регулируемым насосом.** При использовании в насосной установке регулируемого насоса подача изменяется в зависимости от параметра регулирования  $U$  рабочего объема  $V_H$  при сохранении неизменными других параметров работы машины (частота вращения, вязкость рабочей жидкости и др.). Такой метод регулирования называют машинным.

Управление рабочим объемом насоса может осуществляться независимо от режимных параметров гидросистемы или определяться давлением или расходом системы. Соответственно изменяется условное обозначение насоса на гидравлических схемах.

Вследствие наличия силовых факторов на органах регулирования рабочего объема изменение положения этих органов можно производить как вручную (преимущественно малых машин), так и с помощью специальных гидравлических механизмов управления.

Рабочая характеристика насосной установки с регулируемым насосом (рис. 7.41) расположена внутри площади, ограниченной осями координат  $Q$  и  $p$ , линиями  $U_{max}$  и совместной работой насоса и напорного гидроклапана.

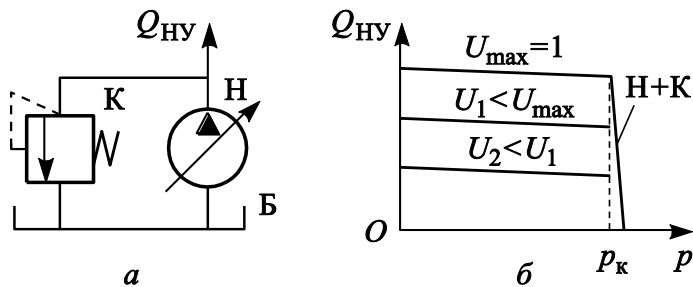


Рис. 7.41. Схема (а) и рабочая характеристика (б) насосной установки с регулируемым насосом

УГО регулируемого насоса не предусматривает обязательности представления механизма регулирования подачи. Однако разработчики часто указывают не только принцип механизма, но и схему механизма регулирования рабочего объема насоса.

Схема насосной установки с регулируемым насосом и электрогидравлическим механизмом управления (МУ) подачи насоса представлена на рис. 7.42, а.

На рис. 7.42, б показано упрощенное графическое обозначение насосной установки с регулируемым насосом с электрогидравлическим управлением. Схема (рис. 7.42, а) дает достаточное представление об электрогидравлическом усилителе (ЭГУ) с обратной связью по положению органа регулирования.

Для работы гидравлической системы практически при постоянном давлении используют регулирование подачи по давлению нагнетания (рис. 7.43). Изменение подачи от  $Q_0$  до  $\approx 0$  происходит в диапазоне нарастания давления от  $p_0$  до  $p_{01,02,03}$ . Угол наклона характеристики зависит от жесткости пружины – чем мягче пружина, тем меньше разность давлений ( $p_{0i} - p_0$ ).

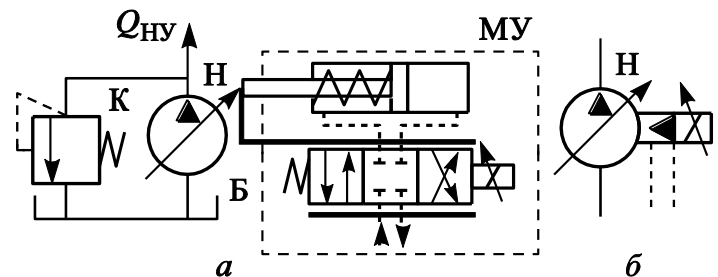


Рис. 7.42. Схема (а) и упрощенное графическое обозначение (б) насосной установки с электрогидравлическим механизмом регулирования рабочего объема насоса

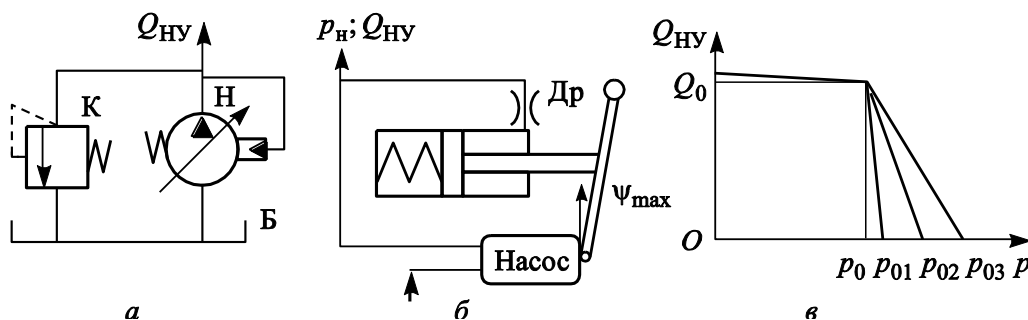


Рис. 7.43. Схема насосной установки с регулированием подачи насоса по давлению (а), схема регулятора подачи (б) и рабочая характеристика (в) насосной установки

Схема механизма регулирования рабочего объема насоса (рис. 7.43, б) включает в себя: орган регулирования рабочего объема; исполнительное устройство, состоящее из одноштокового гидроцилиндра и пружины; гидролинию с дросселем, выполняющим роль демпфера.

Регулятор подачи начинает работать при достижении в напорной гидролинии некото-

рого уровня давления  $p_0$ , при котором  $p_0 S_{п.рег} = c z_0$ , где  $S_{п.рег}$  – площадь поршня регулятора;  $c_{пр}$  – жесткость пружины;  $z_0$  – предварительная деформация пружины.

Поведение рабочей характеристики насосной установки при  $p_H > p_0$  описывается уравнением

$$Q_{Hy i} = Q_0 [1 - A c_{пр} (p_i - p_0)],$$

где  $Q_0$  и  $p_0$  – параметры, при которых начинает срабатывать регулятор подачи;  $A$  – множитель, учитывающий геометрические параметры регулятора подачи;  $p_i$  – текущее давление.

Относительный диапазон изменения давления при регулировании

$$\delta = \frac{p_{0i} - p_0}{p_0} = 0,10 \dots 0,15.$$

Применяя специальное гидравлическое пропорциональное управляющее устройство, можно добиться меньшей величины  $\delta$ .

Если на напорной линии установить регулируемый гидродроссель (рис. 7.44), а на механизм регулирования подачи подвести сигналы давления до и после гидродросселя, можно, обеспечивая постоянный перепад на гидродросселе  $\Delta p$ , получить постоянную подачу. Каждой проводимости гидродросселя  $\sigma_i$  соответствует своя подача  $Q_i$ . Такое регулирование подачи используют в гидроприводах с LS-регулированием (Load Sensing – регулирование по нагрузке).

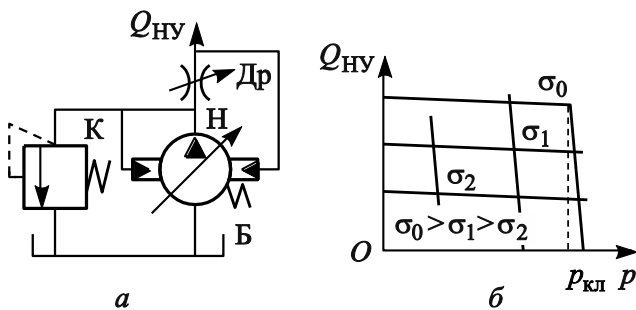


Рис. 7.44. Схема (а) и рабочая характеристика (б) насосной установки

В ряде случаев в качестве первичного источника энергии используют двигатель внутреннего сгорания, оптимальным режимом для которого является работа в режиме постоянной мощности, т. е. с максимальным КПД. В этом случае насосную установку необходимо снабдить регулятором с гиперболическим законом изменения подачи от давления нагнетателя  $p_H Q_{Hy} = const$ .

Если в схему механизма регулирования подачи по давлению установить две пружины разных жесткостей (аппроксимирование гиперболического закона двумя простыми линиями), то последовательным включением их в работу можно получить закон регулирования подачи, близкой к  $p_H Q_{Hy} = const$  с погрешностью в пределах  $\pm 1\%$  во всем диапазоне регулирования давления  $p_0 \leq p_{вкл} \leq p_{max}$  (рис. 7.45, а).

В качестве механизма регулирования применяют гидравлический механизм с механической обратной связью. Под воздействием пружины  $I$  орган регулирования рабочего объема насоса удерживается в крайнем положении, обеспечивая максимальную подачу  $Q_{max}$  в диапазоне изменения давления  $0 \leq p \leq p_0$ . При повышении давления в диапазоне изменения давления  $p_0 \leq p \leq p_{вкл}$  рабочая жидкость, поступая в поршневую полость регулятора, перемещает поршень со штоком. При сжатии пружины  $I$  уменьшаются рабочий объем и подача насоса. Закон изменения подачи от давления определяется жесткостью  $c_1$  и представлен двухштриховой прямой  $I$  на рис. 7.45, а. При дальнейшем повышении давления в гидрочерте нагнетания и соответствующем перемещении поршня со штоком включается в действие пружина  $2$ , и закон изменения подачи от давления (линия  $I + 2$  в диапазоне давления  $p_{вкл} \leq p \leq p_{max}$ ) будет определяться суммарной жесткостью двух пружин  $c_1 + c_2$  (рис. 7.45, б).

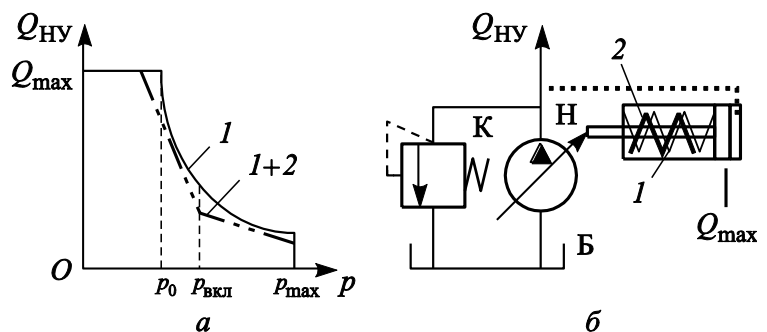


Рис. 7.45. Рабочая характеристика (а), где  $p_{вкл} = p_0 + (p_{max} - p_0)$  и схема насосной установки (б) в режиме постоянной мощности

**В отличие от лопастных машин объемные насосы обладают способностью реверса – изменения направления потока рабочей жидкости без изменения направления вращения вала насоса, т. е. напорная гидролиния становится всасывающей, и наоборот.**

Таблица

Основные характеристики регулирующих устройств насоса			
Диаграмма регулирования и рабочая характеристика			
Тип регулирующего устройства			
Аналоговое (ручное, электрогидравлическое, непрерывное) реверсивное управление	Аналоговое гидравлическое (непрерывное) LS-управление (по нагрузке)	Регулятор (гидравлический) постоянного давления ( $\Delta p = p_2 - p_1$ ), зависящий от жесткости пружины регулятора	Регулятор (гидравлический) постоянной мощности ( $pQ = const$ ) в диапазоне значений $p_0 \dots p_{max}$

Реверс одновременно с изменением рабочего объема осуществляется с помощью механизма регулирования подачи насоса. Насос с реверсивным регулятором рабочего объема может изменять подачу и направление потока жидкости при постоянных частоте и направлении вращения вала насоса.

Основные характеристики регулирующих устройств насосов, разработанные на основе принципов зависимого и независимого управления, приведены в таблице.

Регулирующие устройства насосов должны обеспечивать усилие, достаточное для преодоления реактивного воздействия от рабочего давления, стремящегося перевести насос в режим нулевой подачи.

**Насосные установки с ручными насосами.** Для обеспечения выполнения операций в аварийных ситуациях – отказ источника энергии или насоса в схемах гидроприводов и в некоторых производственных операциях – предусматривают насосные установки с ручными насосами, использующими мускульную силу человека.

Наиболее простым примером использования такой насосной установки с ручным насосом служит ручной автомобильный гидравлический домкрат.

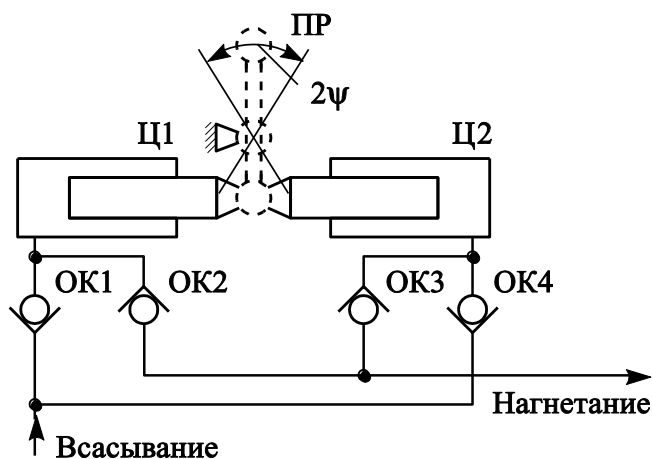


Рис. 7.46. Схема насосной установки с ручным насосом двухкратного действия

Ручной насос однократного действия выполняется по схеме с двумя обратными гидроклапанами: один гидроклапан на гидролинии всасывания, второй – на гидролинии нагнетания. Для повышения производительности труда используют насосы двухкратного действия с двумя поршнями, соединенными в одно целое звено. При движении рукоятки (PP) (рис. 7.46) поршень из гидроцилиндра Ц1 подает жидкость через гидроклапан ОК2 в гидролинию нагнетания. В это же время через гидроклапан ОК4 жидкость из гидролинии всасывания поступает в гидроцилиндр Ц2. При обратном движении рукоятки меняется фаза движения поршней и включаются в работу гидроклапаны ОК1 и ОК3.

Существуют схемы насосных установок со ступенчатым изменением подачи в зависимости от давления нагнетания (рис. 7.47, а).

Изначально осуществляется подача жидкости в гидрелинию нагнетания от ступенчатого поршня гидроцилиндра **Ц1** через гидроклапаны **ОК3**, **ОК5** и **ОК9** или от ступенчатого поршня гидроцилиндра **Ц2** через гидроклапаны **ОК4**, **ОК6** и **ОК9**. По достижении в системе давления  $p_{I\max}$ , на которое отрегулирован гидрораспределитель (**Р**), происходит его переключение из положения **I** в положение **II** (рис. 7.47, б) и подаваемая большим поршнем жидкость сливается в гидрелинию всасывания. Границы областей **I** и **II** определяются эргономическими возможностями человека-оператора (частота двойных ходов и усилие руки оператора) и герметичностью и прочностью насосной установки. После окончания режима удержания рабочая жидкость с помощью вентиля (**В**) сливается в гидробак.

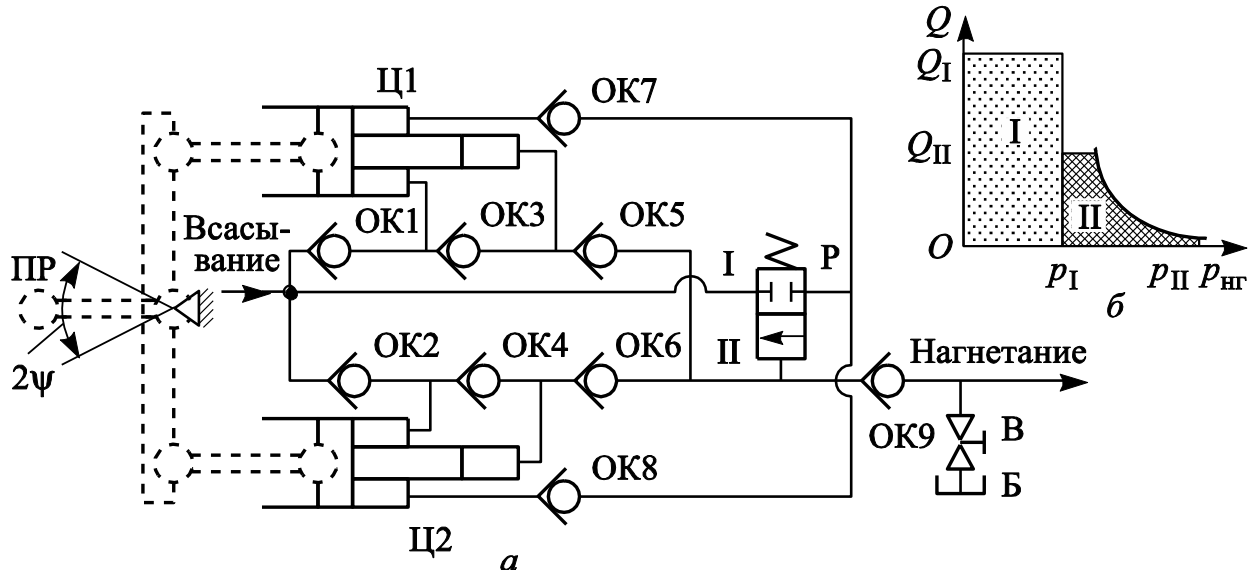


Рис. 7.47. Схема насосной установки с ручным насосом двухкратного действия, ступенчатым изменением подачи (а) и области I, II рабочих характеристик (б)

Известно множество схемных и конструктивных исполнений ручных насосов. Параметры ручных насосов (максимальное давление, подача – число двойных ходов) ограничены эргономическими возможностями человека.