

УДК 69.002.5 – 82

ФАЗОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК МАШИН ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ

*Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Тамело В.Ф.
Белорусский национальный технический университет*

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового и рабочего оборудования машин инженерного вооружения проводится в направлении применения современных насосов переменной и производительности и постоянного объема, обеспечивающих эффективную работу данного оборудования, оптимизации режимов работы посредством развития систем управления на основе современной элементной базы. Базовые платформы насосов, при постоянном росте уровня их автоматизации, не изменяются.

Регулируемые аксиально-поршневые насосы серии 416 [1] с наклонной шайбой и переменным рабочим объемом (рис. 1, обложка стр. 2) предназначены для работы в замкнутых контурах для использования в мобильных, промышленных и стационарных установках. Подача рабочей жидкости на выходе пропорциональна частоте вращения вала насоса и рабочему объему. При этом величину рабочего объема можно бесступенчато регулировать от нуля до максимального значения.

Направление подачи рабочей жидкости можно реверсировать путем изменения наклона шайбы в противоположную сторону от нейтрального (режим нулевой подачи) положения. Гидронасосы комплектуются различными механизмами управления: непропорциональное гидравлическое; пропорциональное сервоуправление; пропорциональное гидроуправление; пропорциональное электроуправление.

Гидронасосы серии 416 имеют встроенный насос подпитки.

Регулируемые аксиально-поршневые насосы типа 313 [1] имеют широкий диапазон изменения рабочего объема, различные виды регулирования и управления (рис. 2).

В исходном положении рабочий объем может быть как максимальным, так и минимальным. Управление может быть позитивным или негативным. Позитивное управление увеличивает рабочий объем, а негативное управление уменьшает рабочий объем. Изменение рабочего объема вызывает изменение подачи и приводного момента.

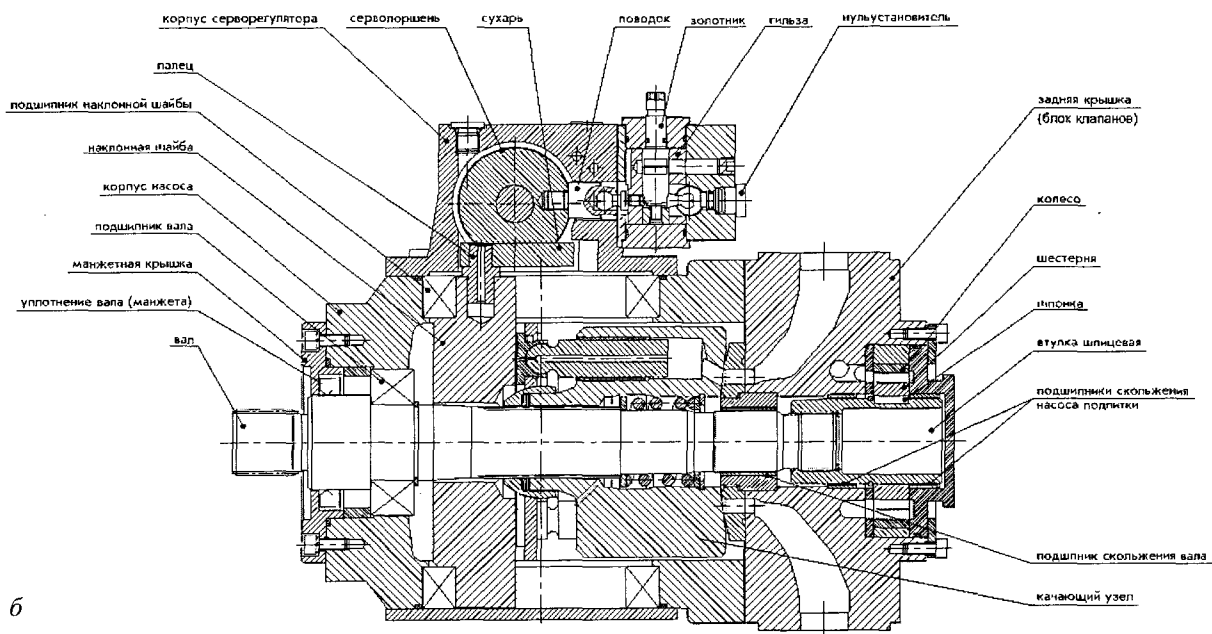


Рис. 1. Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 416:
а – внешний вид (см. обложку); б – разрез

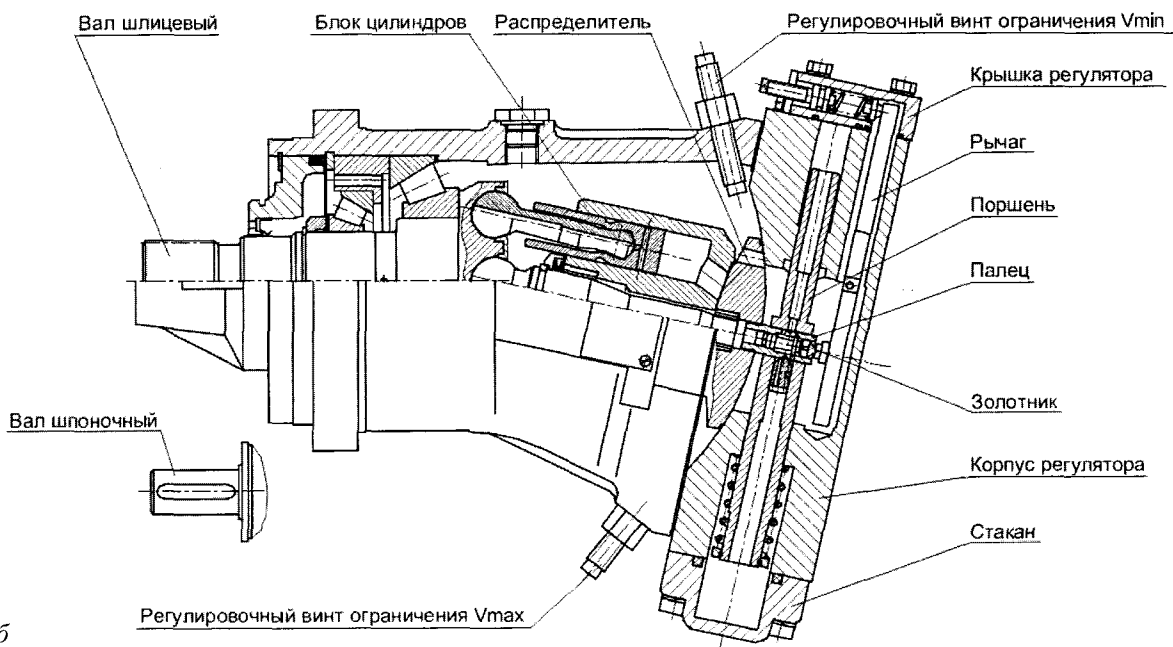


Рис. 2. Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313:
а – внешний вид см. обложку); б – разрез

Насосы нерегулируемые типа 310 [1] состоят из качающего узла, установленного в корпусе, и крышки (рис. 3). Качающий узел состоит из распределительного узла, в состав которого входят: вал, подшипники и блок цилиндров. Блок цилиндров по сферической поверхности контактирует с распределителем.

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод ходового и рабочего оборудования машин инженерного вооружения авторы рассмотрели возможность создания гаммы аксиально-поршневых насосов различного функционального назначения на базе универсального качающего узла и различных распределительных модулей, реализующих алгоритмы управления на основе технических решений предложенного метода фазового регулирования.

В аксиально-поршневых насосах относительное положение наклонной шайбы и гидрораспределителя обеспечивает алгоритм работы насоса, при котором рабочая жидкость поступает из бака в полость цилиндра на такте всасывания и нагнетается в напорную магистраль на такте нагнетания. Рабочий объем насоса определяется ходом и диаметром поршня.

Метод фазового регулирования состоит в изменении относительного углового положения наклонной шайбы и гидрораспределителя, обеспечивающего связь рабочих полостей блока цилиндров в пределах каждого такта последовательно с различными магистралями, т.е. при такте всасывания частично с всасывающей и напорной, а при

такте нагнетания – с напорной и всасывающей магистралями. При изменении фазового положения наклонной шайбы и гидрораспределителя объем насоса определяется эффективным ходом поршня, равным ходу поршня, в течение которого гидрораспределитель обеспечивает связь рабочей полости с одноименной магистралью на данном такте. Так, например, при связи рабочей полости блока цилиндров на такте всасывания 50 % хода каждого поршня с всасывающей, а 50 % с напорной магистралями, эффективный ход поршня равен нулю, соответственно эффективный объем насоса также равен нулю.

Технически, метод фазового регулирования насоса с вращающимся блоком цилиндров, может быть реализован по ряду направлений, предполагающих соответствующие конструктивные решения. Рассмотрим четыре направления:

I. Изменения относительного положения наклонной шайбы и гидрораспределителя [2].

II. Дискретизации непрерывных потоков рабочей жидкости всасывающей и напорной магистралей блока цилиндров насоса и перераспределения гидрораспределителем дискретных потоков рабочей жидкости между напорной магистралью и баком согласно алгоритму управления [3].

III. Деления цилиндров блока на две группы и оснащение каждой группы гидрораспределителем, один из которых неподвижен, а второй изменяет свое угловое положение относительно оси насоса согласно алгоритму управления, и дальнейшему суммированию обоих потоков в напорной магистрали [4, 5, 6].

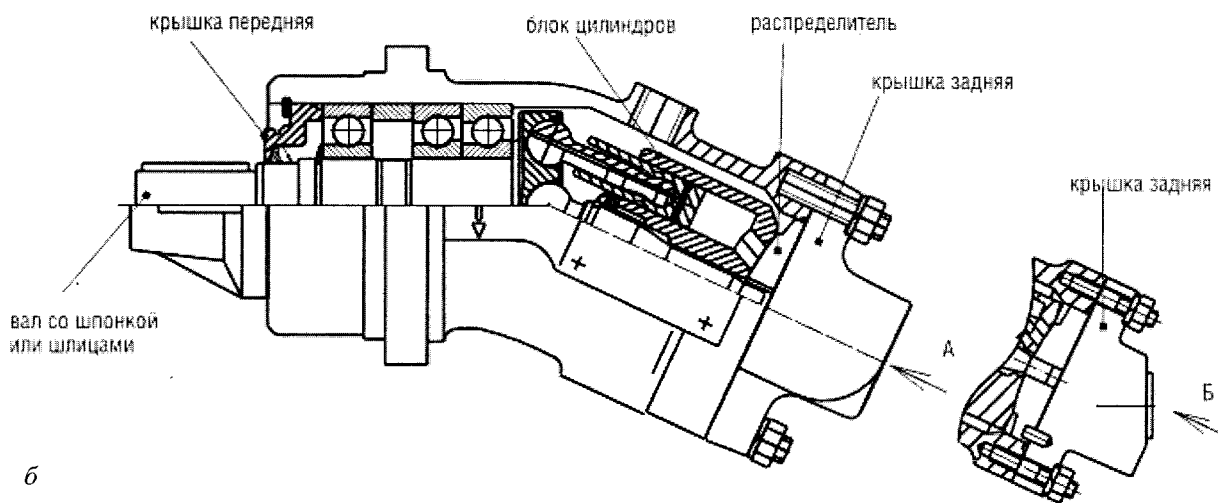


Рис. 3. Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 310:
а – внешний вид (см. обложку); б – разрез

IV. Использование двоянного насоса, параметры одного неизменны, а второй изменяет свои параметры согласно алгоритму управления, и дальнейшему суммированию обоих потоков во всасывающей и напорной магистралях [7, 8].

Универсальный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с подвижным блоком цилиндров (рис. 4, 5, 6) включает приводной вал 3, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 4, блок цилиндров 5, связанный с приводным валом 3 шлицевым соединением, поршни 6, образующие рабочие полости 7. Поршни 6 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 8. Исполнительным механизмом, обеспечивающим управление насосом, является червячная передача, включающая червяк 9, установленный в корпусе 4, либо задней крышке кор-

пуса 4, с приводом автономным двигателем (не показан).

В рамках реализации первого направления распределительный модуль 2 включает опорно-распределительный диск 10, взаимодействующий с торцевой поверхностью блока цилиндров 5, установленный с возможностью поворота относительно оси насоса на угол $0-90^\circ$ (рис. 4), оснащенный двумя полукольцевыми пазми 11, 12, выполненными на торцевой поверхности. Полости полукольцевых пазов 11, 12 связаны каналами 13, 14 с каналами 15, 16 включения насоса в гидросистему. Опорно-распределительный диск 10 оснащен зубчатым венцом червячного зацепления, связанным с червяком 9.

В нейтральном положении опорно-распределительного диска 10 (рис. 4) плоскость симметрии полукольцевых пазов 11, 12 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 8. Каждый поршень 6 работает половину своего хода в разных фазах, т.е. всасывает рабочую жидкость в процессе всасывания из каналов 15, 16, и нагнетает рабочую жидкость в процессе нагнетания в каналы 16, 15. Эквивалентный рабочий объем и подача аксиально-поршневого насоса минимальные – нулевые.

При повороте опорно-распределительного диска 10 на угол 90° по часовой стрелке каждый цилиндр полный ход поршня 6 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из канала 15 и подает ее в канал 16. При повороте опорно-распределительного диска 10 на угол 90° против часовой стрелки канал 16 является всасывающим, а канал 15 напорным. Каждый цилиндр полный ход поршня 6 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из канала 16 и подает ее в канал 15. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса и подача рабочей жидкости максимальные.

Изменяя положение опорно-распределительного диска 10 в диапазоне угла $0\pm 90^\circ$, добиваемся плавного изменения подачи рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса в диапазоне от нулевого до максимального значений при прямой подаче рабочей жидкости и реверсировании.

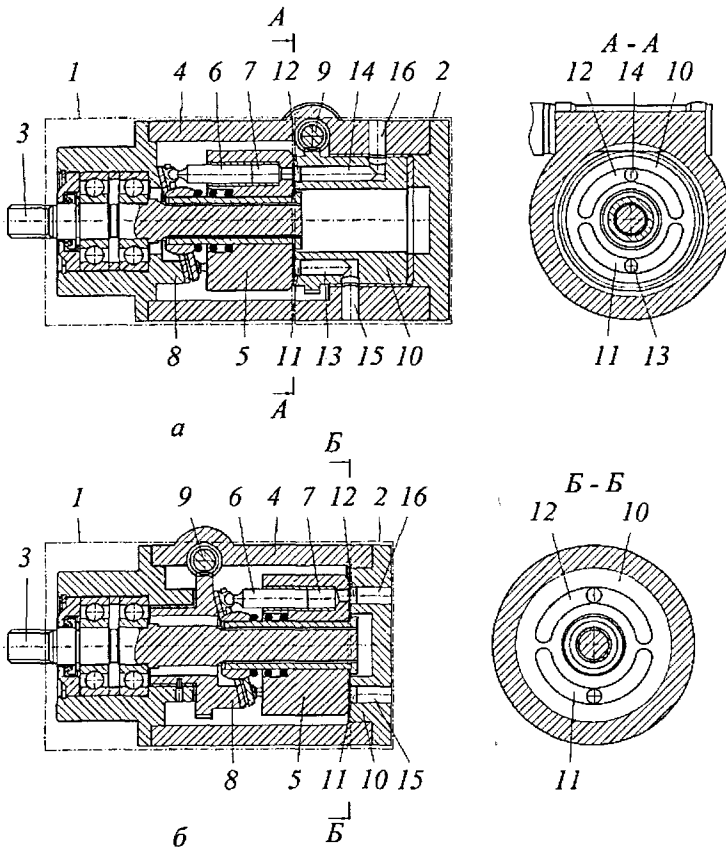


Рис. 4. Аксиально-поршневой насос с системой регулирования относительного положения наклонной шайбы и гидрораспределителя:

- 1 – универсальный качающий узел; 2 – распределительный модуль;
- 3 – приводной вал; 4 – корпус; 5 – блок цилиндров; 6 – поршень;
- 7 – рабочая полость; 8 – наклонная шайба; 9 – червяк;
- 10 – опорно-распределительный диск;
- 11, 12 – полукольцевой паз; 13, 14, 15, 16 – канал

В рамках реализации второго направления (рис. 5) распределительный модуль 2 включает опорно-распределительную втулку 10, оснащенную двумя полукольцевыми пазми 11, 12 с центральными углами составляющими $\approx 180^\circ$, выполненными на торцевой поверхности, распределительную втулку 13, ротор 14, установленный по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 13, и связанный с приводным валом 3 шлицевым соединением. Опорно-распределительная втулка 10 закреплена в корпусе 4. Распределительная втулка 13 установлена по наружной образующей поверхности в опорно-распределительной втулке 10 с возможностью поворота на угол $\pm 90^\circ$. Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка

13 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 9 осуществляется автономным двигателем. Полости полукольцевых пазов 11, 12 связаны каналами 15, 16 с полостями продольных каналов 17, 18 ротора 14.

На цилиндрической поверхности опорно-распределительной втулки 10 образованы два сегментных пазов 19, 20 с полостями, связанными с каналами 21, 22 подключения насоса в гидросистему. На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 13 в зоне сегментных пазов 19, 20 образованы две группы диаметрально противоположных, смещенных по оси насоса, продольных каналов 23, 24 с центральными углами, составляющими 90° . Полость продольного канала 17 связана четырьмя радиальными каналами 25 ротора 14 с полостями группы продольных каналов 23 подвижной распределительной втулки 13. Полость продольного канала 18 связана четырьмя радиальными каналами 26 с полостями группы продольных каналов 24.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 13 полость продольного канала 17 связана с полостью сегментного пазов 20 через каналы 25, 23, а полость продольного канала 18 – с полостью сегментного пазов 19 через каналы 26, 24. Каждый цилиндр полный ход поршня 6 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из канала 22 и подает ее в канал 21. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса равен сумме всех рабочих объемов цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса максимальная.

При повороте подвижной распределительной втулки 13 на угол 90° по часовой стрелке каналы 23, 24 будут в зоне сегментного пазов 20. При этом на такте всасывания рабочая жидкость будет поступать в рабочие полости 7 из полости сегментного пазов 20, и подаваться в полость сегментного пазов 20 из рабочих полостей 7 на такте нагнетания. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса минимальный – нулевой.

При повороте подвижной распределительной втулки 13 на угол 180° по

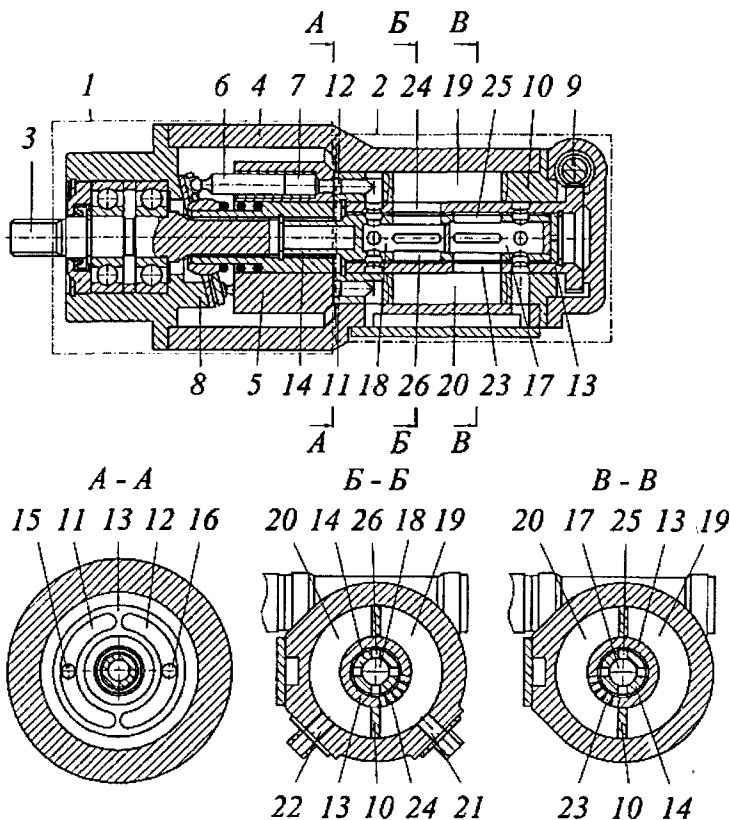


Рис. 5. Аксиально-поршневой насос регулируемый перераспределением потоков рабочей жидкости между магистралями гидросистемы:

- 1 – универсальный качающий узел; 2 – распределительный модуль;
- 3 – приводной вал; 4 – корпус; 5 – блок цилиндров;
- 6 – поршень; 7 – рабочая полость; 8 – наклонная шайба;
- 9 – червяк; 10 – опорно-распределительный диск;
- 11, 12 – полукольцевой паз; 13 – распределительная втулка;
- 14 – ротор; 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26 – канал;
- 19, 20 – сегментный паз

часовой стрелке каналы 23 переместятся в зону сегментного паза 19, а каналы 24 в зону сегментного паза 20. Канал 21 является всасывающим, а канал 22 напорным. Каждый цилиндр полный ход поршня 6 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из канала 21 и подает ее в канал 22. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса равен сумме всех рабочих объемов цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса максимальная. В данном положении подвижной распределительной втулки 13 аксиально-поршневой насос реверсируется.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 13 в диапазоне $0\pm 90^\circ$ добиваемся плавного изменения подачи рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса в диапазоне от нулевого до максимального значений при прямой подаче рабочей жидкости и реверсировании.

В рамках реализации третьего направления (рис. 6) распределительный модуль 2 включает ось 19, блок цилиндров 5 и опорно-распределительная втулка 10 установлены по образующей поверхности оси 19. Ось 19 оснащена двумя сегментными пазы 20, 21, связанными с отводящим 17 и подводящим 18 каналами насоса. Опорно-распределительная втулка 10 установлена с возможностью поворота относительно оси насоса на угол $0-180^\circ$ и оснащена двумя полукольцевыми пазы 11, 12, выполненными на торцевой поверхности. Опорно-распределительная втулка 10 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 9 осуществляется автономным двигателем. Рабочие полости 7 рядом расположенных цилиндров связаны каналами 22, 23 с сегментными пазы 20, 21 оси 19, каналами 13 с полукольцевыми пазы 11, 12 опорно-распределительной втулки 10. Полукольцевые пазы 11, 12 связаны каналами 14, 15, 16 с подводящим 18 и отводящим 17 каналами насоса.

При работе насоса с опорно-распределительной втулкой 10 в исходном положении, при котором сегментные пазы 20, 21 и полукольцевые пазы 11, 12 одинаково ориентированы относительно положения наклонной шайбы 8, рабочие полости 7 рядом расположенных цилиндров соединяются через каналы 22, 23, 13, сегментный паз 21, полукольцевой паз 12, каналы 15, 16, 18 с баком гидросистемы при увеличении объемов рабочих полостей 7, а через каналы 22, 23, 13, сегментный паз 20, полукольцевой паз 11, каналы 14, 16, 17 – с напорной магистралью потребителя при уменьшении объемов рабочих полостей 7.

Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса максимальный.

При повороте опорно-распределительной втулки 10 на угол близкий к 180° сегментные пазы 20, 21 и полукольцевые пазы 11, 12 ориентированы относительно положения наклонной шайбы 8 со сдвигом фаз на 180° . При этом на такте всасывания рабочая жидкость поступает в рабочие полости 7 половины цилиндров блока 5 через канал 18, сегментный паз 21, каналы 23, 22, а в рабочие полости 7 второй половины цилиндров блока 5 рабочая жидкость поступает через каналы 17, 16, 14, полукольцевой паз 11, канал 13. При движении поршней 6 внутрь блока цилиндров 5 рабочая жидкость из рабочих полостей 7 нагнетается половиной цилиндров блока 5 через каналы 22, 23, сегментный паз 20, канал 17 в напорную магистраль потребителя, а второй половиной цилиндров блока 5 из рабочих полостей 7 через каналы 13, полукольцевой паз 12, каналы 15, 16, 18 – в бак гидросистемы. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса равен сумме всех рабочих объемов цилиндров нулевой.

Изменяя фазовый угол полукольцевых пазов 11, 12 относительно сегментных пазов 20, 21 добиваемся необходимого эквивалентного рабочего объема и подачи рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса от нулевого до максимального значений.

В основу реализации четвертого направления положены сдвоенные насосы. Технически сдвоенный аксиально-поршневой насос может быть реализован посредством компоновки двух качающих узлов в одном блоке цилиндров рис. 7 [7].

Сдвоенный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с подвижным блоком цилиндров (рис. 7) включает приводной вал 3, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 4, блок цилиндров 5, связанный с приводным валом 3 шлицевым соединением, поршни 6, 7, образующие рабочие полости 8. Поршни 6 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 9. Поршни 7 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 10, установленной с возможностью поворота на 180° относительно оси насоса, оснащенной зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 11 осуществляется автономным двигателем.

Распределительный модуль 2 включает ось 12, оснащенную двумя сегментными пазы 13, 14, связанными с отводящим 15 и подводящим 16 каналами насоса. Рабочие полости 8 связаны каналами 17 с сегментными пазы 13, 14 оси 12.

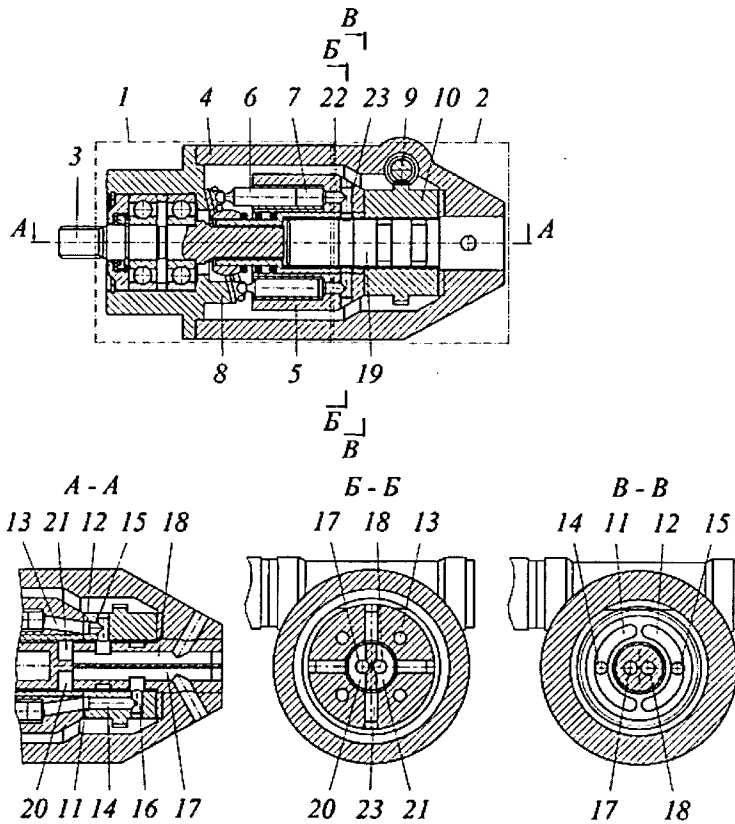


Рис. 6. Аксиально-поршневой насос регулируемый изменением относительного положения распределителей:

- 1 – универсальный качающий узел; 2 – распределительный модуль;
- 3 – приводной вал; 4 – корпус; 5 – блок цилиндров;
- 6 – поршень; 7 – рабочая полость; 8 – наклонная шайба;
- 9 – червяк; 10 – опорно-распределительный диск;
- 11, 12 – полукольцевой паз; 13 – распределительная втулка;
- 14 – ротор; 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26 – канал;
- 19, 20 – сегментный паз

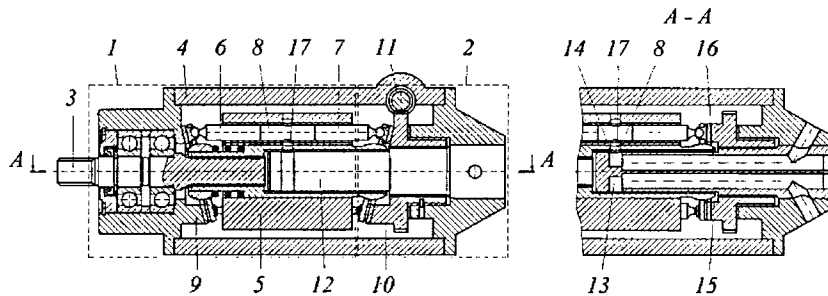


Рис. 7. Аксиально-поршневой насос сдвоенный, регулируемый изменением относительного положения наклонных шайб:

- 1 – универсальный качающий узел; 2 – распределительный модуль; 3 – приводной вал;
- 4 – корпус; 5 – блок цилиндров; 6, 7 – поршень; 8 – рабочая полость; 9, 10 – наклонная шайба;
- 11 – червяк; 12 – ось; 13, 14 – сегментный паз; 15, 16, 17 – канал

При положении шайбы 10, обеспечивающем разнонаправленное движение поршней 6, 7, эквивалентный рабочий объем насоса максимальный. При установке шайбы 10 параллельно шайбе 9 посредством поворота ее червяком 11 на угол 180° обеспечивается движение поршней 6, 7 в одну сторону, эквивалентный рабочий объем насоса минимальный (нулевой). Изменяя положение шайбы 10 в пределах угла 0–180°, получаем необходимый эквивалентный рабочий объем насоса в диапазоне минимальный – максимальный.

Предлагаемый метод фазового регулирования эквивалентного рабочего объема аксиально-поршневого насоса является мало энергоёмким. Малая энергоёмкость системы управления обеспечит увеличение общего КПД насосной установки. Применение электродвигателей управления расширяет возможности автоматизации системы управления.

Список использованных источников

1. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
2. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 20980 С1 Респ. Беларусь, МПК *F 15B 11/22* (2006. 01). / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ю. Шляхтун, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет – № а 20131439; заявл. 2013.12.04; опубл. 2017.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 2.
3. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А. Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2011. №1 (74). – С. 10–17.
4. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 8454 U Респ. Беларусь, МПК *F 15B 11/22* (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, А.М. Витковский; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20120057; заявл. 2012.01.23; опубл. 2012.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4.
5. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 9326 U Респ. Беларусь, МПК *F 15B 11/22* (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, С.А. Позняк; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20121179; заявл. 2012.12.28; опубл. 2013.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3.
6. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 18365 С1 Респ. Беларусь, МПК *F 04B 11/22* (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20111501; заявл. 2011.11.11; опубл. 2014.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3.
7. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 14695 С1 Респ. Беларусь, МПК *F 04B 11/22* (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.В. Костко, С.В. Кондратьев, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20090537; заявл. 2009.04.15; опубл. 2011.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4.
8. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 15486 С1 Респ. Беларусь, МПК *F 04B 11/22* (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.В. Костко, С.В. Кондратьев, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20081458; заявл. 2008.11.18; опубл. 2012.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1.