

УДК 69.05–82–229.384

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАСОСОВ ГИДРОПРИВОДА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

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

В статье рассмотрены направления совершенствования аксиально-поршневых насосов гидропривода рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин. Предложено создание гаммы двухпоточных аксиально-поршневых насосов различного функционального назначения на базе универсального качающего узла и различных гидрораспределительных модулей.

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин может осуществляться в направлении применения моноагрегатных двухпоточных насосов переменной производительности, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы рабочих органов технологического оборудования.

Для привода технологического оборудования в одноковшовых полноповоротных экскаваторах ЭО-4322, ЭО-4321В, ЭО-4121, ЭО-4224, ЭО-4125, ЭО-3322 применяется насос регулируемый двухпоточный серии 321.224А производства ЧАО «Стройгидравлика» Украина. Насос включает два качающих узла с наклонными блоками цилиндров ($2 \times 112 \text{ см}^3$), скомпонованные в одном корпусе, с валами, связанными встроенным редуктором. Насос оснащен регулятором мощности и применяется в гидросистемах с открытым контуром. Насос специализированный, применяется в данном исполнении, резервы расширения модельного ряда ограничены. Изменение параметров объема насоса, либо его секций потребует создания нового насоса. Удельная масса насоса велика, что свидетельствует о существенном увеличении удельных массово-габаритных параметров.

Компания «Пневмостроймашина» Россия [1] наряду с отдельностоящими насосами и моторами предлагает многонасосные моноагрегаты,

представляющие собой раздаточный редуктор и установленные на нем гидронасосы. Например, трехнасосный агрегат 333.1.112.100.770 (рис. 1), имеет в своем составе 2 главных регулируемых насоса 313.3.112, и третий вспомогательный насос 310.12.

Многонасосный агрегат может иметь максимально 5 основных насосов и 1 вспомогательный. Данная конфигурация по сути своей является конечной, увеличение числа потоков более 6 возможно путем применения нескольких многонасосных агрегатов. Реверсирование отдельных

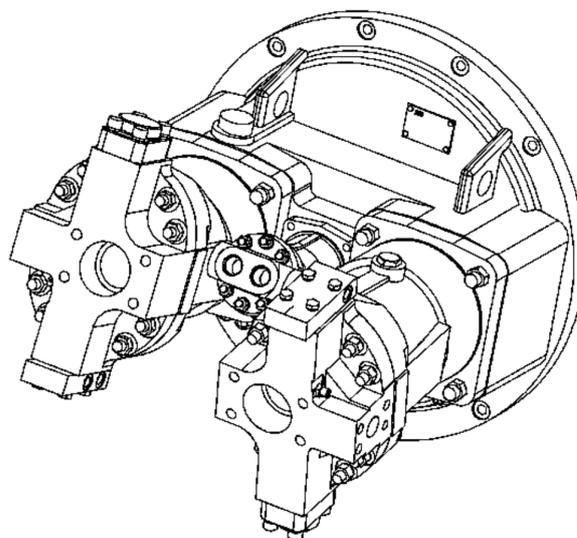


Рис. 1. Агрегат трехнасосный 333.1.112.100.770

насосов в агрегате также не представляется возможным, так как агрегат комплектуется только насосами с наклонными блоками цилиндров, изменяющими рабочий объем от максимального значения до нулевого. Передаточное отношение редукторов различное в зависимости от соотношения габаритов насосов и их количества. При реализации многонасосного агрегата в рамках первого направления габариты и стоимость его существенно увеличиваются.

Для ремонта экскаваторов, находящихся в эксплуатации, компания ОАО «Пневмостроймашина» [1] освоила производство комплектов, названных «Установка насосного агрегата УНА». Комплект УНА состоит из гидроагрегата, включающего два насоса типа 313 (рис. 2), установленных на корпусе редуктора привода, и набора узлов и деталей, с помощью которых производится монтаж агрегата на экскаваторах взамен ранее установленных насосов [1]. УНА-1000 заменяет двоярный насос 321.224 или двоярный насос 223.25 ЧАО «Стройгидравлика» на экскаваторах ЭО-4121, ЭО-4225, ЕУ-423. УНА-5000 заменяет двоярный насос 223.25 или 321.224 на экскаваторе ЭО-4321В.

Насосы типа 313 аксиально-поршневые регулируемые имеют широкий диапазон изменения рабочего объема, различные виды регулирования

и управления. В исходном состоянии 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 потребляемого (приводного) момента.

Качающий узел состоит из вала, установленного в корпусе на подшипниках и блока цилиндров. Фланец вала соединен с поршнями и шипом. Поршни перемещаются в цилиндрах блока. Величина хода поршней определяется углом, образованным осями вращения блока цилиндров и вала. Блок по сферической поверхности контактирует с распределителем, который противоположной стороной прилегает к опорной поверхности корпуса регулятора.

При работе насоса вал приводится во вращение от двигателя. Вращение вала передается шатунам, от них через поршни – блоку цилиндров. Каждый поршень за одну половину оборота вала производит всасывание, за другую – нагнетание рабочей жидкости в гидросистему. Подача определяется частотой вращения вала насоса, а также собственным рабочим объемом насоса. Рабочий объем определяется углом наклона блока цилиндров относительно оси вала.

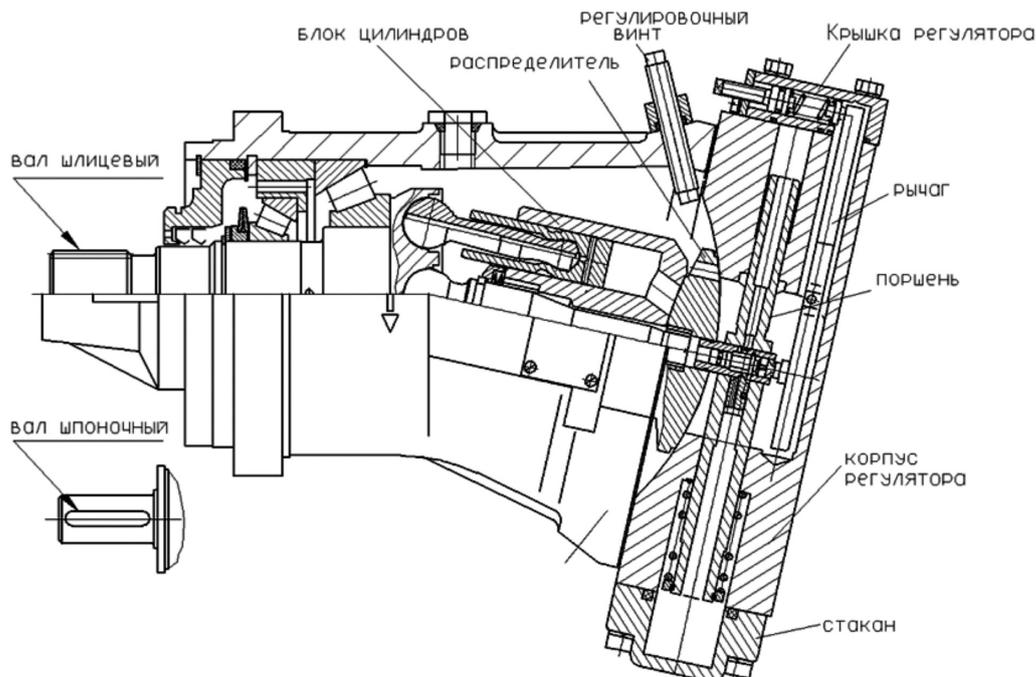


Рис. 2. Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313

Анализ рынка гидравлической аппаратуры показывает, что основными направлениями развития многопоточных моноагрегатов являются: объединение насосов раздаточным редуктором, скомпонованном в едином корпусе, либо вне его; создание тандемов серийных насосов; связь насосных секций одним ведущим валом. Создание многонасосных агрегатов на базе однопоточных насосов и их узлов, установленных на редукторе привода, скомпонованным вместе с редуктором привода в одном корпусе, тандемированных либо связанных одним валом увеличивают массово-габаритные параметры и стоимость многонасосного агрегата за счет дублирования ряда основных базовых узлов и деталей однопоточных насосов.

Ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют внимания поиску новых принципов и развитию конструкций насосов, предпочитая выпуск более дорогих многопоточных насосов на базе освоенных в производстве насосов. Существенным резервом при создании многопоточных моноагрегатов является использование основных принципов объемного гидропривода дискретного действия [2].

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин авторы рассмотрели возможность создания гаммы двухпоточных аксиально-поршневых насосов различного функционального назначения на базе универсального качающего узла и различных гидрораспределительных модулей. Качающий узел может быть реализован по двум основным схемам: схема с подвижным блоком цилиндров и неподвижными наклонной шайбой и гидрораспределителем, и схема с неподвижным блоком цилиндров, вращающимися наклонной шайбой и гидрораспределителем [3].

Разработаны конструктивные схемы регулируемых двухпоточных аксиально-поршневых насосов на базе универсальных качающих узлов с подвижным (рис. 3) и неподвижным (рис. 4) блоками цилиндров. Двухпоточный аксиально-поршневой насос включает однопоточный универсальный качающий узел 1 и гидрораспределительный модуль 2. Конструктивная схема гидрораспределительного модуля 2 обеспечивает регулирование эквивалентного рабочего объема и распределение потоков рабочей жидкости по магистралям двух потребителей.

Универсальный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с подвижным блоком цилин-

дров (рис. 3) 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, закрепленной неподвижно в корпусе 4.

Гидрораспределительный модуль 2 включает опорно-распределительный диск 9, установленный в антифрикционной втулке корпуса 4 с возможностью поворота на угол $0-90^\circ$, неподвижную распределительную втулку 10, закрепленную в корпусе 4, подвижную распределительную втулку 11, установленную в неподвижной распределительной втулке 10 с возможностью поворота, и ротор 12, связанный с приводным валом 3. В гидрораспределительном модуле 2 реверсируемого (рис. 3, а) и не реверсируемого (рис. 3, б) насосов поворот подвижной распределительной втулки 11 осуществляется на угол, изменяемый в диапазонах $\pm 180^\circ$ и $\pm 45^\circ$. Опорно-распределительный диск 9 и подвижная распределительная втулка 11 оснащены зубчатыми венцами червячных зацеплений, управляемых автономными двигателями. Опорно-распределительный диск 9 оснащен двумя полукольцевыми пазами 13, 14 с центральными углами составляющими $\approx 180^\circ$, связанными каналами в блоке цилиндров 5 с рабочими полостями 7. Полость полукольцевого паза 13 связана с полостью продольного канала 15, образованного в роторе 12 в гидрораспределительном модуле 2 реверсируемого насоса (рис. 3, а), и с подводным каналом 16 корпуса 4 не реверсируемого насоса (рис. 3, б). Полость полукольцевого паза 14 связана с полостью продольного канала 17.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 10 образованы четыре диаметрально противоположных сегментных паза 18, 19, 20, 21, связанных с каналами 22, 23, 24, 25 подключения реверсируемого насоса (рис. 3, а) в гидросистему. При этом полости диаметрально противоположных сегментных пазов и 20, 19 и 21 формируют два потока рабочей жидкости: каналы 22 и 24 являются отводящим (подводящим) и подводящим (отводящим) у одного потока рабочей жидкости, а каналы 23 и 25 являются отводящим (подводящим) и подводящим (отводящим) у второго потока рабочей жидкости. В гидрораспределительном модуле 2 не реверсируемого насоса (рис. 3, б) полости диаметрально противоположных сегментных пазов 18 и 20, 19 и 21 связаны попарно и с каналами 22, 23 подключения двух напорных магистралей потребителей.

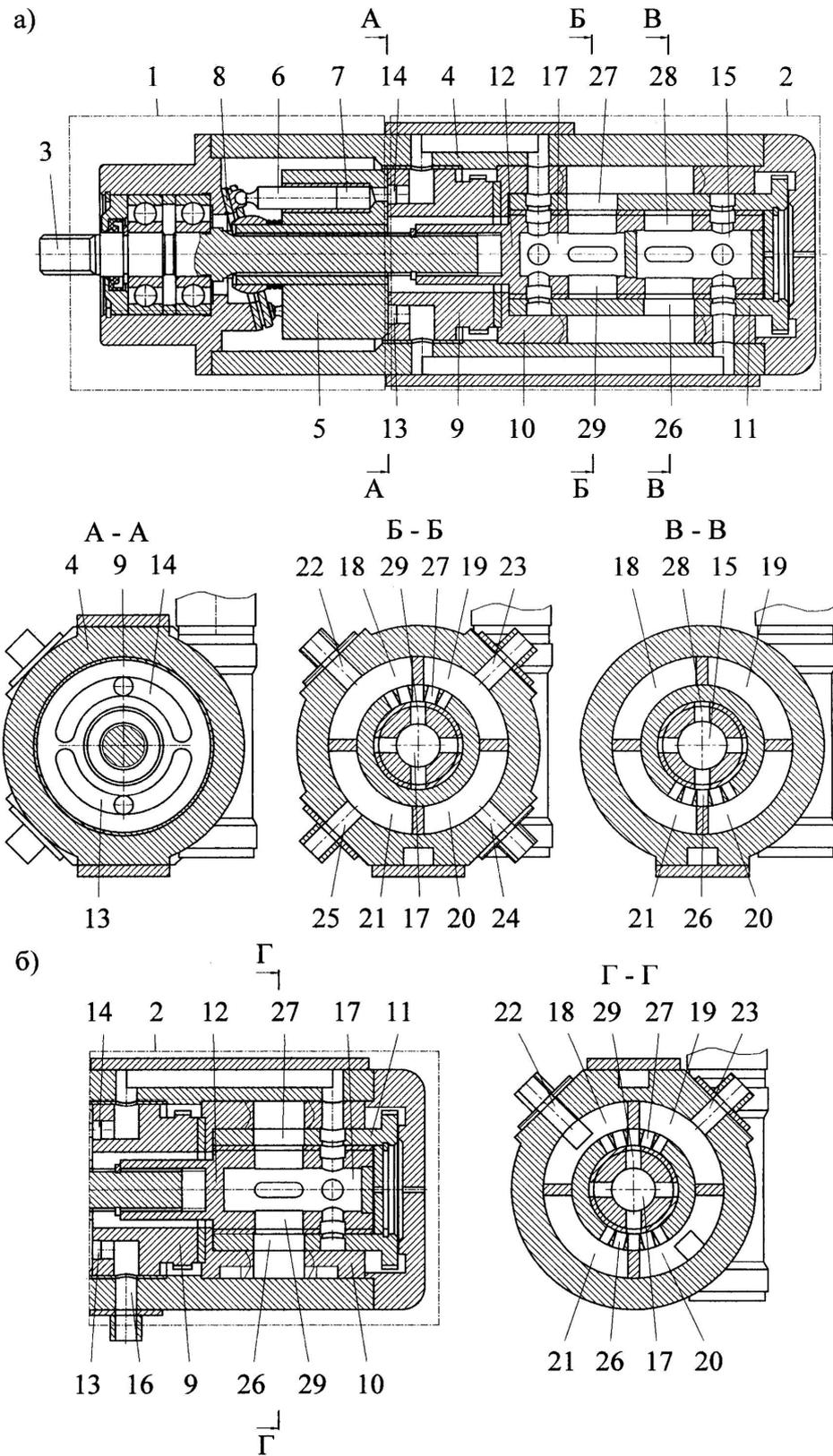


Рис. 3. Двухпоточный аксиально-поршневой насос:
а) реверсируемый; б) не реверсируемый

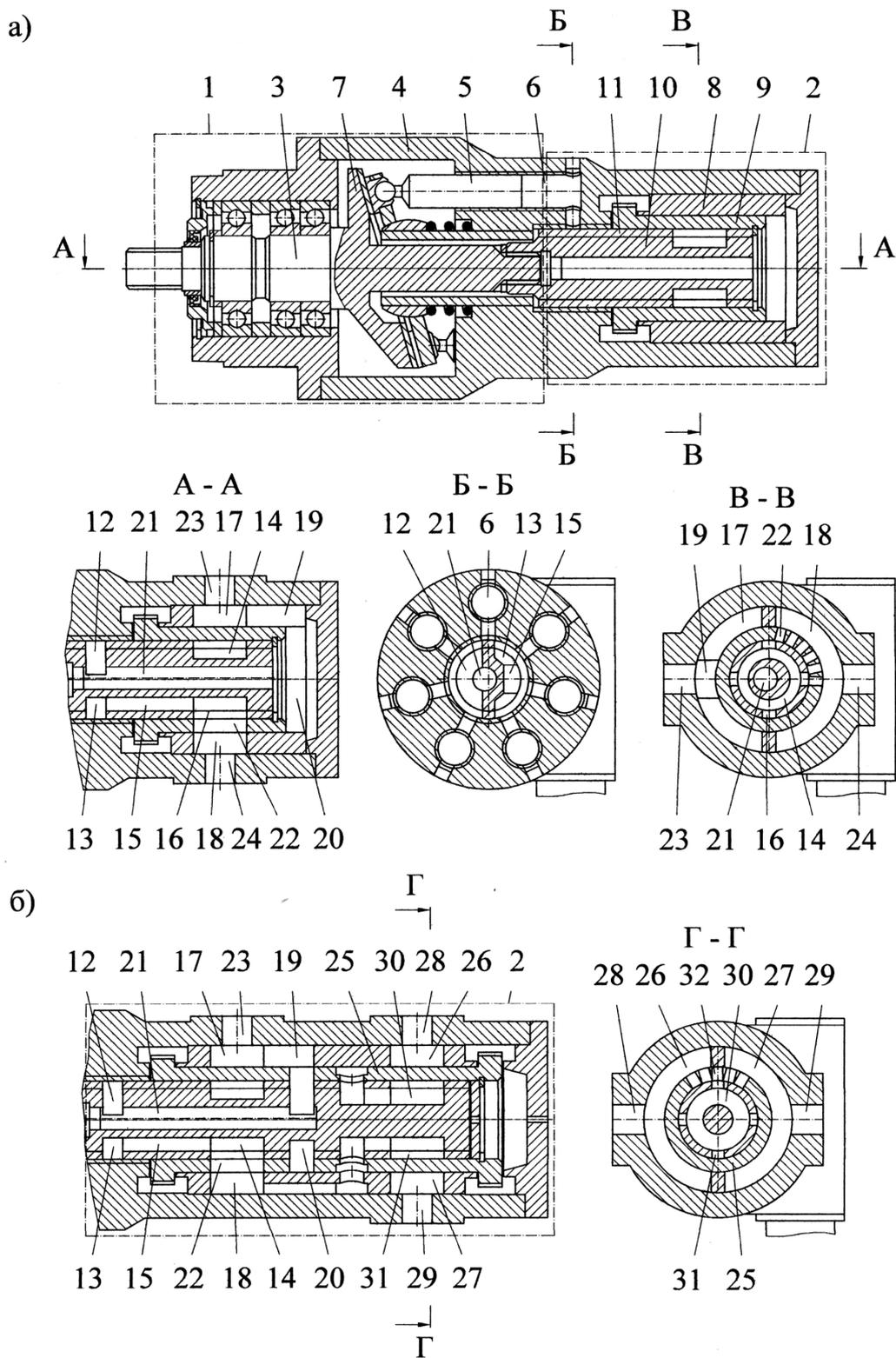


Рис. 4. Аксиально-поршневой насос с неподвижным блоком цилиндров:
а – однопоточный; б – двухпоточный

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 11 образованы две группы диаметрально противоположных продольных каналов 26, 27. В гидрораспределительном модуле 2 (рис. 3, а) полости продольных каналов 15, 17 связаны группами из четырех радиальных каналов 28, 29 ротора 12 с полостями групп продольных каналов 26, 27. В гидрораспределительном модуле 2 (рис. 3, б) полость продольного канала 17 связана четырьмя радиальными каналами 29 ротора 12 с полостями групп продольных каналов 26, 27.

Гидрораспределительный модуль 2 двухпоточного насоса включает два канала управления параметрами подачи рабочей жидкости по магистралям потребителей. Первый канал управления обеспечивает регулирование объема качающего узла 1. Второй канал управления определяет параметры распределения потоков рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей.

В основу алгоритма регулирования объема качающего узла 1 (рис. 3) положен способ фазового регулирования объема качающего узла 1, состоящий в изменении относительного положения продольных плоскостей наклонной шайбы 8 и полукольцевых пазов 13, 14 опорно-распределительного диска 9 [4]. При неизменном геометрическом ходе поршня 6 изменяется его эффективный ход, определяемый положением фаз всасывания и нагнетания.

В нейтральном положении опорно-распределительного диска 9 плоскость симметрии полукольцевых пазов 13, 14 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 8. Каждый поршень 6, перемещаясь в блоке цилиндров 5, обеспечивает всасывание рабочей жидкости в рабочие полости 7 из полостей полукольцевых пазов 13, 14, и нагнетание из рабочих полостей 7 в полости полукольцевых пазов 14, 13 половину хода поршней 6. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 5 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в продольных каналах 15, 17 нет. Эквивалентный объем качающего узла 1, равный сумме всех эквивалентных объемов цилиндров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости качающего узла 1 минимальная – нулевая.

При повороте опорно-распределительного диска 9 на угол 90° по часовой стрелке каждый поршень 6 обеспечивает всасывание рабочей жидкости в рабочие полости 7 из полости полукольцевого паза 13, и нагнетание из рабочих

полостей 7 в полость полукольцевого паза 14. Эквивалентный объем качающего узла 1 и подача рабочей жидкости максимальная. Канал 15 является всасывающим, а канал 17 – напорным.

Изменяя положение опорно-распределительного диска 9 в диапазоне угла $0-90^\circ$, добиваемся плавного изменения объема качающего узла 1 от нулевого до максимального значений.

В основу алгоритма регулирования параметров распределения потока рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей положен способ дискретизации потока рабочей жидкости качающего узла 1 и распределения дискретных объемов по напорным магистралям потребителей. При повороте подвижной распределительной втулки 11 меняется положение каналов 26, 27 относительно сегментных пазов 18, 19, 20, 21, определяющее режим работы двухпоточного насоса (рис. 3, а) в замкнутом контуре.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 11 двухпоточного насоса (рис. 3, а) каналы 24, 25 являются всасывающими, а каналы 22, 23 – напорными. При вращении приводного вала 3 и ротора 12 по часовой стрелке рабочая жидкость из каналов 24, 25 поступает в полости сегментных пазов 20, 21, и по каналам 26, 28 в полость продольного канала 15, далее в полость полукольцевого паза 13 и рабочие полости 7 блока цилиндров 5. Из рабочих полостей 7 рабочая жидкость поступает в полость продольного канала 17, и по каналам 29, 27, последовательно, в полости сегментных пазов 18, 19, откуда по каналам 22, 23 в напорные магистрали двух потребителей. Взаимодействие каналов 26, 28 и 29, 27 обеспечивает дискретизацию потока рабочей жидкости и ее деление по напорным магистралям потребителей. Двухпоточный насос обеспечивает два потока рабочей жидкости: всасывает рабочую жидкость из двух магистралей по каналам 24, 25 с расходом в каждом канале $-0,5q$ и подает ее в напорные магистрали двух потребителей по каналам 22, 23 с подачей по каждому каналу $+0,5q$ [здесь и далее q – подача качающего узла 1, $\text{м}^3/\text{сек}$; (+) – напор, (–) – всасывание].

Поворот подвижной распределительной втулки 11, например, по часовой стрелке меняет режим работы двухпоточного насоса. В таблице 1 представлены параметры подачи рабочей жидкости реверсируемого двухпоточного аксиально-поршневого насоса по магистралям потребителей при повороте подвижной распределительной втулки 11 относительно исходного положения.

Таблица 1.

Параметры подачи рабочей жидкости двухпоточного аксиально-поршневого насоса по магистралям потребителей

Канал	Угол поворота подвижной распределительной втулки 11							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
22	+0,5q	0	-0,5q	-q	-0,5q	0	-0,5q	+q
23	+0,5q	+q	+0,5q	0	-0,5q	-q	-0,5q	0
24	-0,5q	0	+0,5q	+q	+0,5q	0	-0,5q	-q
25	-0,5q	-q	-0,5q	0	+0,5q	+q	+0,5q	0

Анализ таблицы 1 показывает, что, поворачивая подвижную распределительную втулку 11 на угол 0–315° по часовой стрелке, обеспечиваем плавное регулирование параметров подачи рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей при работе двухпоточного аксиально-поршневого насоса в замкнутом контуре. Так, например, при повороте подвижной распределительной втулки на угол 90° реверсируется один поток двухпоточного насоса, а поворот на угол 180° обеспечивает реверсирование двух потоков.

В двухпоточном насосе (рис. 3, б), полукольцевой паз 13 связан с каналом 16 и баком гидросистемы, а полукольцевой паз 14 – с продольным каналом 17 ротора 12. Сегментные пазы 18, 20 и 19, 21 связаны попарно.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 11 двухпоточного насоса (рис. 3, б) рабочая жидкость из полости продольного канала 17 по каналам 29, 26, 27 поступает в полости сегментных пазов 20, 18 и 21, 19, откуда по каналам 22, 23 в напорные магистрали двух потребителей. Двухпоточный насос обеспечивает два потока рабочей жидкости: всасывает рабочую жидкость из канала 16 и подает ее в напорные магистрали двух потребителей по каналам 22, 23 с подачей по каждому каналу +0,5q.

Насосы с неподвижным блоком цилиндров, вращающейся наклонной шайбой и распределителем рабочей жидкости широкого распространения не получили. Это объясняется в частности тем, что традиционные технические решения изменения рабочего объема аксиально-поршневых насосов, состоящие в изменении угла наклона шайбы, либо блока цилиндров, в насосах с неподвижным блоком цилиндров технически сложно реализуемы. Авторами разработаны направления технической реализации универсального качающего узла и гидрораспределительных модулей [5], [6], обеспечивающих одно и многопоточное

исполнение аксиально-поршневого насоса, исполнение насоса с постоянным, либо переменным объемом.

Универсальный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с неподвижным блоком цилиндров (рис. 4) включает ведущий вал 3, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 4 насоса. В корпусе 4 насоса образован неподвижный блок цилиндров. Поршни 5 образуют рабочие полости 6, и прижимаются к поверхности шайбы 7, выполненной заодно с валом 3.

Разработаны конструктивные схемы гидрораспределительных модулей однопоточного (рис. 4, а) и двухпоточного (рис. 4, б) аксиально-поршневого насоса переменного эквивалентного объема, обеспечивающих регулирование параметров эквивалентного объема в гидравлических контурах двух потребителей.

В основу алгоритма регулирования параметров подачи рабочей жидкости положен способ дискретизации непрерывного потока рабочей жидкости универсального качающего узла 1 и распределения дискретных объемов по магистралям согласно алгоритма работы гидрораспределительного модуля 2. В регулируемом однопоточном аксиально-поршневом насосе (рис. 4, а) гидрораспределительный модуль 2 включает один канал управления параметрами подачи рабочей жидкости в магистраль потребителя.

Гидрораспределительный модуль 2 однопоточного аксиально-поршневого насоса (рис. 4, а) включает неподвижную распределительную втулку 8, закрепленную в корпусе 4, подвижную распределительную втулку 9, установленную с возможностью поворота на угол 90°, и ротор 10 с втулкой 11, связанный с валом 3. На роторе 10 выполнены два диаметрально противоположных сегментных пазов 12, 13 с центральными углами, составляющими 180° и кольцевая канавка

14, связанная с сегментными пазом 13 каналом 15. На цилиндрической поверхности втулки 11 в зоне кольцевой канавки 14 образованы четыре продольных канала 16. Продольная плоскость сегментных пазов 12, 13 совпадает с плоскостью наклона шайбы 7.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы два диаметрально противоположных сегментных паза 17, 18 с центральными углами, составляющими $\approx 180^\circ$. Полость сегментного паза 17 связана каналом 19 с полостью 20, образованной в корпусе 4, и каналом 21 с полостью сегментного паза 12 ротора 10.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 в зоне сегментных пазов 17, 18 образована группа продольных каналов 22. Центральный угол группы каналов 22 составляют 90° . Подвижная распределительная втулка 9 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления с приводом от автономного двигателя.

Полость кольцевой канавки 14 связана каналами 16 и 22 с сегментными пазами 18, 17 в зависимости от положения подвижной распределительной втулки 9.

Полости сегментных пазов 17, 18 связаны каналами 23, 24 с баком гидросистемы и напорной магистралью.

Рабочие полости 6 блока цилиндров насоса связаны радиальными каналами с полостями сегментных пазов 12, 13.

Полость сегментного паза 12 связана с рабочими полостями 6 цилиндров, поршни 5 которых работают в режиме всасывания рабочей жидкости. Рабочая жидкость поступает из бака гидросистемы в полости сегментных пазов 17, 12 и рабочие полости 6. Полость сегментного паза 13 связана с рабочими полостями 6 цилиндров, поршни которых работают в режиме нагнетания. Рабочая жидкость из полости сегментного паза 13 поступает в полость кольцевой канавки 14, и через продольные каналы 16, 22 дискретными порциями в полости сегментных пазов 18, 17.

При исходном положении распределительной втулки 9 все продольные каналы 22 находятся в зоне сегментного паза 18, что обеспечивает максимальный эффективный объем аксиально-поршневого насоса и максимальную подачу рабочей жидкости в напорную магистраль через канал 24. При повороте подвижной распределительной втулки 9 против часовой стрелки на 90° все продольные каналы 22 перемещаются в зону

сегментного паза 17. При этом сегментные пазы 12, 13 ротора 10 связаны с полостью сегментного паза 17. Эффективный объем аксиально-поршневого насоса минимальный (нулевой). Подача рабочей жидкости через канал 24 в напорную магистраль отсутствует.

Изменение углового положения подвижной распределительной втулки 9 обеспечивает регулирование эффективного объема аксиально-поршневого насоса от нулевого значения до максимального (геометрического).

Для реализации гидрораспределительного модуля 2 двухпоточного аксиально-поршневого насоса структурная схема гидрораспределительного модуля 2 однопоточного аксиально-поршневого насоса дополнена элементами, обеспечивающими повторную дискретизацию потока рабочей жидкости, параметры которого скорректированы первым каналом управления, и распределения дискретных объемов по двум напорным магистралям. В регулируемом двухпоточном аксиально-поршневом насосе гидрораспределительный модуль 2 оснащен дополнительно вторым каналом управления параметрами подачи рабочей жидкости в магистрали двух потребителей.

Гидрораспределительный модуль 2 двухпоточного аксиально-поршневого насоса (рис. 4, б) оснащен дополнительной подвижной распределительной втулкой 25, установленной с возможностью поворота на угол 90° . Подвижная распределительная втулка 25 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления с приводом от автономного двигателя. На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы два дополнительных диаметрально противоположных сегментных паза 26, 27 с центральными углами, составляющими $\approx 180^\circ$, связанные каналами 28, 29 с напорными магистралями. На роторе 10 образована дополнительная кольцевая канавка 30, связанная с полостью сегментного паза 18 неподвижной распределительной втулки 8. На цилиндрической поверхности втулки 11 в зоне кольцевой канавки 30 образованы четыре продольных канала 31.

На цилиндрической поверхности дополнительной подвижной распределительной втулки 25 в зоне сегментных пазов 26, 27 образована группа продольных каналов 32. Центральный угол группы каналов 32 составляют 90° .

Рабочая жидкость из полости сегментного паза 18 поступает в полость кольцевой канавки 30, по продольным каналам 31, 32 в полости сегментных пазов 26, 27 и по каналам 28, 29 в магистрали по-

ребителей. В исходном положении подвижной распределительной втулки 25 подача рабочей жидкости через продольные каналы 31, 32 в полости сегментных пазов 26, 27 и магистрали потребителей, подключенные к каналам 28, 29 одинаковая. При повороте подвижной распределительной втулки 25 по часовой стрелке на угол 45° все продольные каналы 32 переводятся в зону сегментного паза 27, подача рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 29 максимальная, а подача рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 28 – нулевая. Аналогично, поворот подвижной распределительной втулки 25 против часовой стрелки на угол 45° от исходного положения обеспечивает максимальную подачу рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 28, и нулевую подачу в магистраль, подключенную к каналу 29. Изменяя положение подвижной распределительной втулки 25, обеспечиваем

плавное регулирование параметров подачи рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей в соответствии с заданным алгоритмом управления гидроприводом.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 11 в диапазоне угла $0 \pm 45^\circ$ добиваемся плавного изменения параметров подачи рабочей жидкости по магистралям потребителей в диапазоне от нулевого до максимального значений при заданном уровне параметров подачи насосной секции 1 аксиально-поршневого насоса.

Реализация предложенного принципа построения гаммы аксиально-поршневых насосов позволит сократить номенклатуру выпускаемых гидравлических аппаратов при обеспечении потребностей транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

Список использованных источников

1. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
2. Коробкин, В.А. Модернизация строительных и дорожных машин на основе создания гидравлических агрегатов нового поколения / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. – 2012. – №1. – С. 20–27.
3. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Учебник для вузов / Т.М. Башта. – М., Машиностроение, 1974 – 606 с.
4. Объемная гидропередача: пат. 10429 Респ. Беларусь, F 16H 61/44, F 15B 11/22 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, К.Б. Щебетов, Е.К. Щебетова, О.А. Плиговка, Д.Ю. Мягков, М.Н. Мануйлов; заявитель Учреждение образования «Минский государственный высший авиационный колледж». – № u 20131134; заявл. 2013.12.27; опубл. 2014.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 6.
5. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 3838 Респ. Беларусь, F 15B 11/00 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20070146; заявл. 2007.02.27; опубл. 2007.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4.
6. Аксиально-поршневой насос: пат. 9556 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) F 15B 11/00 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, К.Б. Щебетов, Е.К. Щебетова; заявитель Минский государственный высший авиационный колледж. – № u 20130112; заявл. 2013.02.11; опубл. 2013.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5.