

УДК 69.05–82–229.384

МОДУЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ НАСОСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

*Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Герасимюк А.И., Юнусов Ю.Ш., Быковский Д.В.
Белорусский национальный технический университет*

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования и рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы данного оборудования.

Для привода ходового оборудования при выполнении технологических операций в трансмиссии базового изделия 453 котлованной машины МДК-3 применяется гидрообъемная передача в составе аксиально-поршневых насоса переменной производительности и гидромотора постоянного объема с наклонными блоками цилиндров [1], работающих в закрытом контуре. Для привода ходового оборудования вибрационных катков с гладкими вальцами, грунтовых вибрационных катков, бульдозеров, малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом и других машин широкое распространение получили аксиально-поршневые реверсируемые насосы переменной производительности серии 416 [2], применяемые в закрытом контуре. Насосы серии 416 оснащены наклонной шайбой, угол наклона которой изменяется системой управления насоса. Система управления насоса требует наличия отдельного гидравлического контура управления, совмещенного с контуром подпитки насоса.

В системах отбора мощности на привод технологического оборудования в машинах инженерного вооружения, строительных и дорожных машинах широкое применение получили насосы шестеренные [1], [3], [4].

Инженерная машина разграждения ИМР-2М [1] предназначена для выполнения работ, обеспечивающих продвижение войск через зоны разрушений при инженерном обеспечении боевых действий войск. Машина ИМР-2М состоит из гусеничного шасси и рабочего оборудования, которое приводится в действие гидроприводом, пневмо- и электрооборудованием. Насосная установка гидропривода предназначена для питания гидросистемы рабочей жидкостью и включает в себя шесть насосов НШ-46У или НШ-50А-2, установленных на картере редуктора привода насосов.

Одним из направлений модернизации системы приводов рабочих органов ИМР-2М [5], [6], [7] является применение моноагрегатной насосной установки, состоящей из трех шестеренных насосов с приводом от одного вала: моноагрегат – группа 4+4+3 необходимой комплектации объемом $(150+100+50 \text{ см}^3)$. Секция насоса объемом 150 см^3 обеспечивает работу приводов бульдозерного оборудования и колеино минного трала, механизма укладки и поворота башни; секция насоса объемом 100 см^3 – стрелового оборудования с приводов подъема и выдвижения стрелы и привода подъема захвата; секция насоса объемом 50 см^3 – оборудования манипулятора с приводом клещей захвата и поворота захвата. Насосный агрегат может быть произведен предприятиями РБ. Такой подход позволит отказаться от применения материалоемкого редуктора привода насосов при полном сохранении функциональности системы приводов рабочего оборудования. Более глубокой модернизацией системы приводов рабочих органов ИМР-2М является применение насосной установки на базе одного насоса переменной производительности. Использование одного

насоса упростит привод рабочих органов ИМР-2М и позволит поддерживать оптимальный режим работы при изменении условий нагружения рабочих органов.

Аналогичные направления модернизации систем приводов рабочего оборудования могут быть применены у путепрокладчиков БАТ-М, БАТ-2 [8], [9], [10], [11].

Анализ элементной базы систем приводов ходового и рабочего оборудования инженерных машин, проведенный авторами, показал, что насосы шестеренные обладают меньшими значениями удельной массы по сравнению с аксиально-поршневыми насосами [12], [13]. В настоящее время насосы шестеренные переменного рабочего объема не производятся.

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод ходового и технологического оборудования машин инженерного вооружения авторы рассмотрели возможность создания насосов шестеренных регулируемого эффективного объема для работы в закрытом и открытом гидравлических контурах на основе модульного построения гаммы насосов переменного эквивалентного объема на базе мало материалоемкого шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля. При разработке основных концепций формирования гидрораспределительных модулей авторами доработан мало энергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема насоса, состоящий в перераспределении потоков рабочей жидкости между магистралями гидросистемы [14], [15]. Разработаны конструктивные схемы насоса шестеренного переменного эквивалентного объема, реверсирующего (рисунки 1, а) и не реверсирующего (рисунки 1, б) поток рабочей жидкости, состоящего из шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля, обеспечивающего изменение эквивалентного объема.

Насос шестеренный переменного эквивалентного объема включает шестеренный насос постоянного объема 1 и гидрораспределительный модуль 2. Шестеренный насос постоянного объема 1 содержит шестерни 3, 4, образующие в корпусе насоса полости: всасывающую 5, и напорную 6. Шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 7.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного, и дополнительно, реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее

работу в закрытом контуре [16] (рис. 1, а), и изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного (рис. 1, б), позволяющее работу в открытом контуре. Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 8, закрепленную в корпусе гидрораспределительного модуля, подвижную распределительную втулку 9, установленную по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 8 с возможностью поворота на угол: 180° для насосов, реверсирующих (рис. 1, а), и 90° – для насосов, не реверсирующих (рис. 1, б) поток рабочей жидкости, и ротор 10, установленный по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 9, и связанный с приводным валом 7 шлицевым соединением.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы две группы диаметрально противоположных сегментных пазов 11, 12 с центральными углами, составляющими $\approx 90^\circ$. Полости сегментных пазов 11 и 12 связаны попарно каналами и трубопроводами 13, 14. Шестеренная насосная установка включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей каналами 15, 16 к полостям сегментных пазов 11, 12.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в закрытом контуре (рис. 1, а) на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы четыре группы диаметрально противоположных продольных каналов 17, 18. Группы продольных каналов 17 и 18 смещены по оси подвижной распределительной втулки 9 и на угол 90° . Также, на наружной цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы две кольцевые канавки 19, 20. На цилиндрической поверхности ротора 10 образованы две кольцевые канавки 21, 22, и, связанные с ними две группы продольных каналов 23, 24, смещенных по оси и равномерно распределенных по образующей цилиндрической поверхности ротора 10. Кольцевые канавки 21, 22 и 19, 20 связаны радиальными каналами подвижной распределительной втулки 9. Всасывающая полость 5 связана каналами и трубопроводом 25 с полостью кольцевой канавки 20. Напорная полость 6 связана каналами и трубопроводом 26 с полостью кольцевой канавки 19.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в открытом контуре (рис. 1, б) на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы

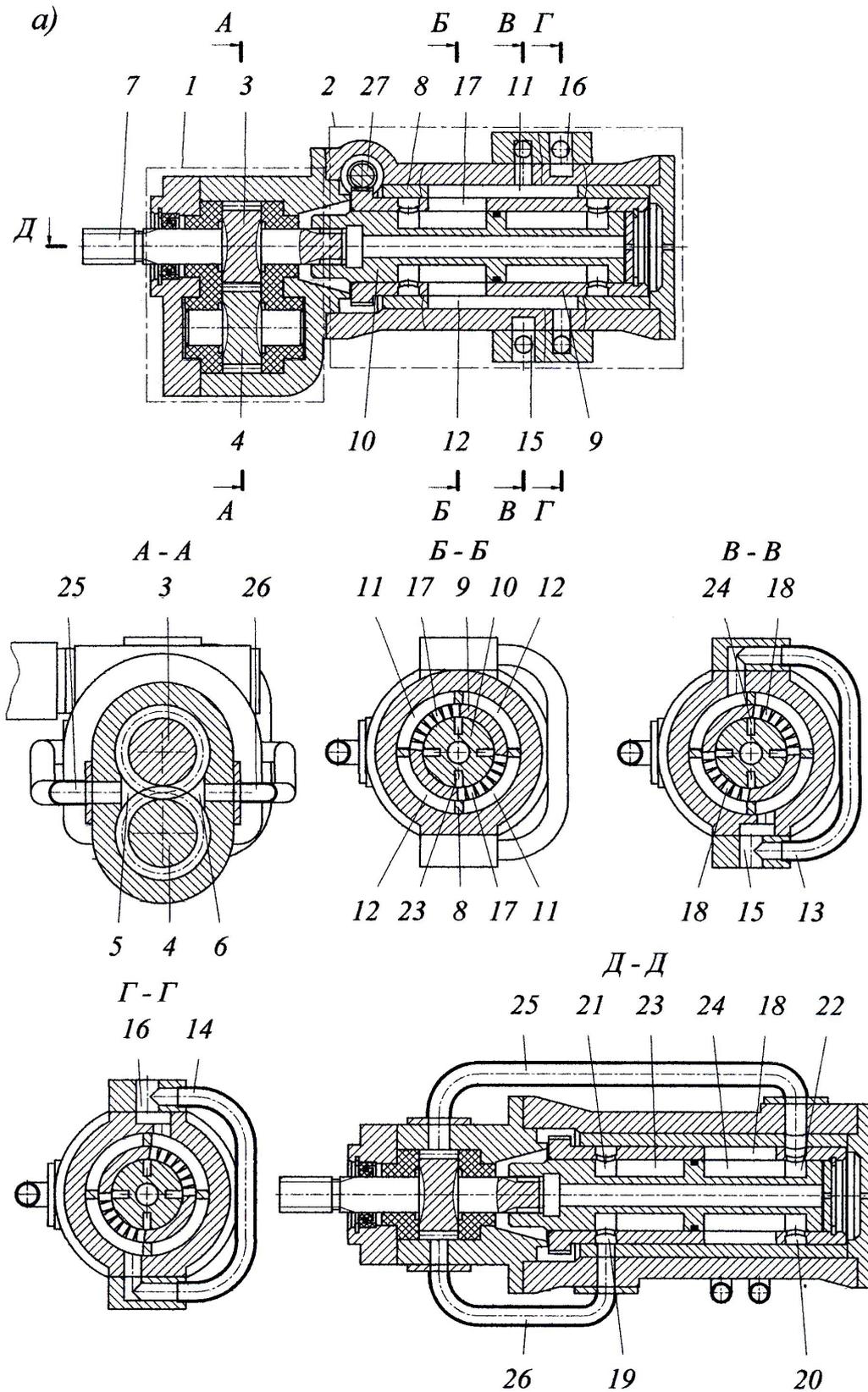


Рис. 1 а. Насос шестеренный, реверсирующий поток рабочей жидкости

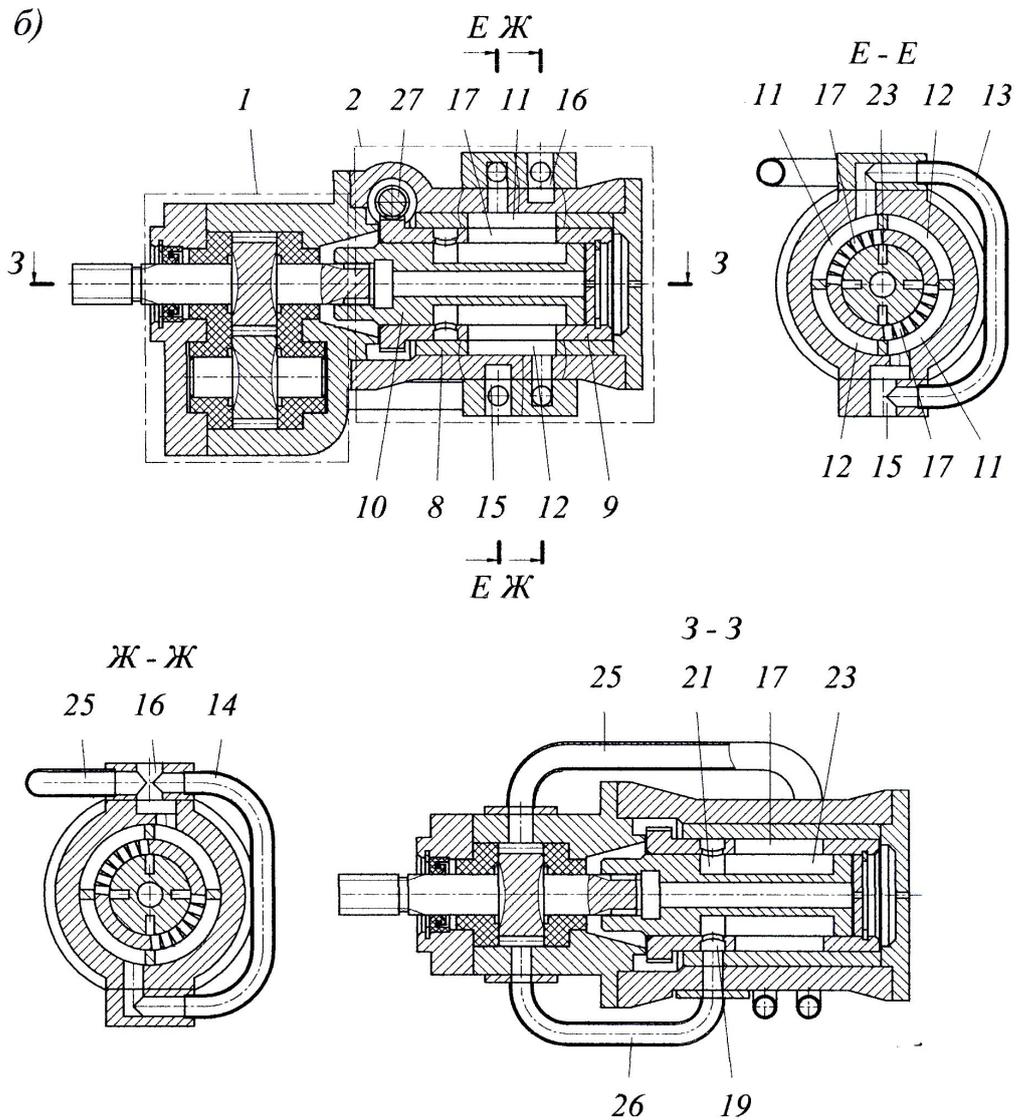


Рис. 1 б. Насос шестеренный не реверсирующий поток рабочей жидкости

две группы диаметрально противоположных продольных каналов 17 и одна кольцевая канавка 19. На цилиндрической поверхности ротора 10 образована кольцевая канавка 21 и группа продольных каналов 23. Всасывающая полость 5 связана каналами и трубопроводом 25 с каналом 15 и полостями сегментных пазов 11. Напорная полость 6 связана каналами и трубопроводом 26 с полостью кольцевой канавки 19.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 9 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 27 червячного зацепления подвижной распределительной втулки 9 осуществляется автономным двигателем.

При работе насоса шестеренного приводной вал 7 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 3, 4, ротор 10. Во всасывающей полости 5, трубопроводе 25, кольцевых канавках 20, 22, продольных каналах 24 создается разрежение, а в напорной полости 6, трубопроводе 26, кольцевых канавках 19, 21, продольных каналах 23 – напор.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 9 гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного, работающего в закрытом контуре (рис. 1, а), магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 16 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 15 – напорной. Рабочая жид-

кость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12. Далее по продольным каналам 18, 24 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 22, 20, и по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса постоянного объема 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 15.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 посредством автономного двигателя и червяка 27 на угол 45° , например, по часовой стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12, а половина продольных каналов 17 останется в зоне сегментных пазов 11. Также, половина продольных каналов 18 переместятся в зоны сегментных пазов 11, а половина продольных каналов 18 останется в зоне сегментных пазов 12. При повороте ротора 10 на угол 45° от начала взаимодействия двух каналов 24 с продольными каналами 18 рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12, через продольные каналы 18, 24 в полости кольцевых канавок 22, 20. При дальнейшем повороте ротора 10 на угол от 45° до 90° рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 15, трубопроводу 13 поступает в полости сегментных пазов 11, через продольные каналы 18, 24 в полости кольцевых канавок 20, 21. Далее рабочая жидкость поступает по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. При дальнейшем повороте ротора 10 два следующих продольных канала 24 взаимодействуют с продольными каналами 18, и цикл повторяется, как описано выше. Всасывание рабочей жидкости осуществляется последовательно из магистралей гидросистемы, подключенных к каналам 16, 15. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17, периодически, в полости сегментных пазов 11, 12, и по каналам 15, 16 в магистрали гидросистемы. Нагнетание рабочей жидкости

осуществляется последовательно в магистрали гидросистемы, подключенные к каналам 15, 16. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 суммарно движения рабочей жидкости в магистралях гидросистемы, подключенных к каналам 15, 16 нет. Обеспечивается нулевой эквивалентный объем насоса шестеренного и нулевая подача рабочей жидкости в напорную магистраль.

При последующем повороте подвижной распределительной втулки 9 на угол 90° по часовой стрелке от исходного положения продольные каналы 17, 18 переместятся в зоны сегментных пазов 12, 11. В данном положении подвижной распределительной втулки 9, магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 15 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 16 – напорной. Рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 15, трубопроводу 13 поступает в полости сегментных пазов 11. Далее по продольным каналам 18, 24 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 22, 20, и по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 14 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 16. Поток рабочей жидкости реверсирован.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 9 гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного, работающего в открытом контуре (рис 1, б), магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 16 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 15 – напорной. Рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12, запертые в данном положении подвижной распределительной втулки 9, и по трубопроводу 25 – во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении под-

вижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 15.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 посредством автономного двигателя и червяка 27 на угол 45° , половина продольных каналов 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12, а половина продольных каналов 17 останется в зоне сегментных пазов 11. При повороте ротора 10 на угол 45° от начала взаимодействия двух каналов 23 с продольными каналами 17 рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 25 поступает во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. При дальнейшем повороте ротора 10 на угол от 45° до 90° рабочая жидкость из напорной полости 6 поступает по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Всасывание рабочей жидкости осуществляется последовательно из магистрали гидросистемы, подключенной к каналу 16 (условно половина оборота ротора 10) и из напорной полости 6 шестеренного насоса 1. Всасывания рабочей жидкости из магистрали, подключенной к каналу 15 нет. Соответственно нагнетание рабочей жидкости осуществляется последовательно в магистрали гидросистемы, подключенные к каналам 15, 16. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается эквивалентный объем насоса шестеренного равный половине конструктивного и подача рабочей жидкости в напорную магистраль, равная половине номинального значения.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 на 90° продольные каналы 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12. Поток рабочей жидкости из напорной полости 6, поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, продольных каналов 23, по каналам 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 25 во всасывающую полость 5. В полости сегментных пазов 11 и напорную магистраль гидросистемы, подключенную к каналу 15, рабочая жидкость не поступает. Эквивалентный рабочий объем насоса шестеренного минимальный – нулевой.

Реверсирование потока рабочей жидкости в данном исполнении гидрораспределительного модуля 2 невозможен, поскольку канал 16 постоянно связан с всасывающей полостью 5.

При дальнейшем повороте подвижной распределительной втулки 9 каналы 17 возвращаются в зону сегментных пазов 11, и эквивалентный объем насоса шестеренного увеличивается до конструктивного значения.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 9 в диапазоне $0 \div 90^\circ$ посредством автономного двигателя и червяка 27 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы в диапазоне от нулевого до максимального значений, и, при усложнении конструкции распределительного модуля 2 – реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Предлагаемые подходы к созданию шестеренных насосов переменного эквивалентного объема позволяют реализацию модульного принципа построения, состоящего в данном случае в том, что насос шестеренный постоянного объема 1 и распределительный модуль 2 производятся в отдельных корпусах, обеспеченных фланцами для соединения. Данное направление создания шестеренных насосов переменного эквивалентного объема не требует существенного пересмотра сложившихся технологий производства насосов.

Модульный подход позволит создавать типоразмерные ряды регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей предлагаемых конструкций.

Реализация модульного принципа построения насосов позволит создавать гидромашины переменного эквивалентного объема на базе шестеренных насосов с внутренним зацеплением, героторных и планетарно-роторных гидромашин, аксиально-поршневых гидромашин с подвижным и неподвижным блоком цилиндров, пересмотреть подходы к регулированию радиально-поршневых гидромашин, пластинчатых насосов и т.д.

Возможно создание распределительных модулей, оснащенных автономным приводом ротора, не связанным с агрегатами привода насоса постоянного объема. Автономный гидрораспределительный модуль подключается в гидросистему насоса постоянного объема, обеспечивая регулирование его эффективного объема.

Литература

1. Олышанский, А.В. Машины инженерного вооружения. Часть I. Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений и механизации земляных работ: учебник для курсантов военных училищ инженерных войск / А.В. Олышанский, Н.Ф. Федотов, Н.Г. Бородин и др.; Под ред. А.В. Олышанского. – М.: Военное издательство, 1986 – 422 с.
2. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
3. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. Ч. 1: Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоления заграждений / С. В. Кондрачев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. Ю. Рогов; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2015. – 376 с.
4. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. Ч. 2: Мостовые, мостостроительные и переправочные средства / С. В. Кондрачев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. А. Барташевич; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2016. – 353 с.
5. Котлобай, А.Я. Модернизация систем приводов рабочего оборудования военно-инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.Ш. Юнусов, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. – 2014. №3-4 (30-31). – С. 68–75.
6. Котлобай, А.Я. Развитие и модернизация белорусско-российской военной инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.Ш. Юнусов, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2014. №4 (65). – С. 4–9.
7. Гидравлическая система привода рабочего оборудования инженерной машины разграждения: пат. 19790 С1 Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20130832; заявл. 2013.07.08; опубл. 2016.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1.
8. Котлобай, А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. 2013. № 1–2 (24–25). С. 8–15.
9. Котлобай, А.Я. Направление модернизации систем приводов рабочего оборудования инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2015. №1 (66). – С. 16–21.
10. Гидравлическая система привода рабочего оборудования путепрокладчика: пат. 9327 U Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, С.А. Позняк; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20121183; заявл. 2012.12.28; опубл. 2013.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3.
11. Гидравлическая система привода рабочего оборудования путепрокладчика: пат. 9925 U Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, К.Б. Щебетов, Е.К. Щебетова, О.А. Плиговка, А.У. Козырь, А.А. Клименко; заявитель Минский государственный высший авиационный колледж. – u 20130637; заявл. 2013.07.3; опубл. 2014.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 1.
12. Котлобай, А.Я. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, А.И. Герасимюк, В.Ф. Тамело, В.В. Грубеляс // Инженер-механик. – 2017. №1 (74). – С. 10–17.
13. Котлобай, А.Я. Обоснование целесообразности применения гидропривода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, М.М. Гришкевич, В.Ф. Тамело, А.И. Герасимюк // Вестник военной академии Республики Беларусь. – 2017. № 2 (55). – С. 108–115.
14. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Учебник для вузов / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
15. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–17.
16. Петров, В. А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В. А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.