

## **РАЗВИТИЕ ОДНОПОТОЧНЫХ ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ МАШИН ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ**

**Котлобай А. Я.**, кандидат технических наук, доцент,  
**Журавлев В. В.**,

**Миронов Д. Н.**, кандидат технических наук, доцент,  
**Быковский Д. В., Барташевич А. А.**

*Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь*

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования и рабочих органов технологического оборудования машин инженерного вооружения осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы данного оборудования. В системах отбора мощности на привод технологического оборудования в машинах инженерного вооружения широкое применение получили насосы шестеренные. Как правило, многофункциональное технологическое оборудование требует наличия нескольких насосов шестеренных, привод которых обеспечивается раздаточными коробками, усложняющими моторно-трансмиссионный отсек базовой машины [1], [2]. Анализ показал, что насосы шестеренные обладают меньшими значениями удельной массы по сравнению с аксиально-поршневыми насосами [3], [4].

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 гидравлическом контуре на базе шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля [5], [6]. При разработке основных концепций формирования гидрораспределительных модулей авторами предложен мало энергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема [7], [8].

Разработаны конструктивные схемы насоса шестеренного переменного эквивалентного объема реверсирующего поток рабочей жидкости.

Рассмотрим варианты реализации однопоточного насоса шестеренного на базе шестеренной насосной секции наружного зацепления (см. рисунок 1, 2) и шестеренной насосной секции внутреннего зацепления (см. рисунок 3, 4).

Насос шестеренный наружного зацепления (см. рисунок 1, 2), состоит из шестеренной насосной секции 1 наружного зацепления и гидрораспределительного модуля 2.

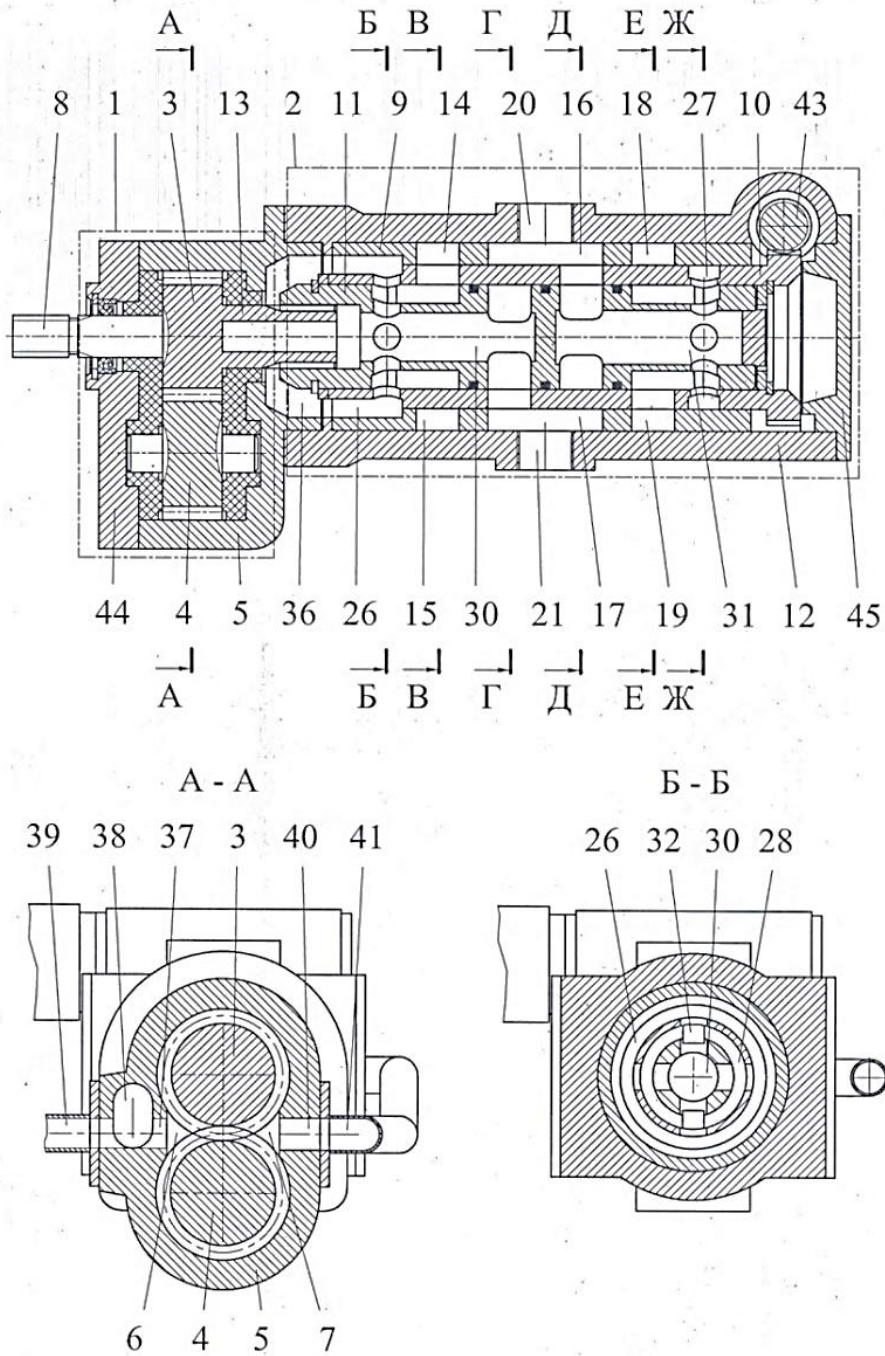


Рисунок 1 – Однопоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции наружного зацепления и гидрораспределительного модуля

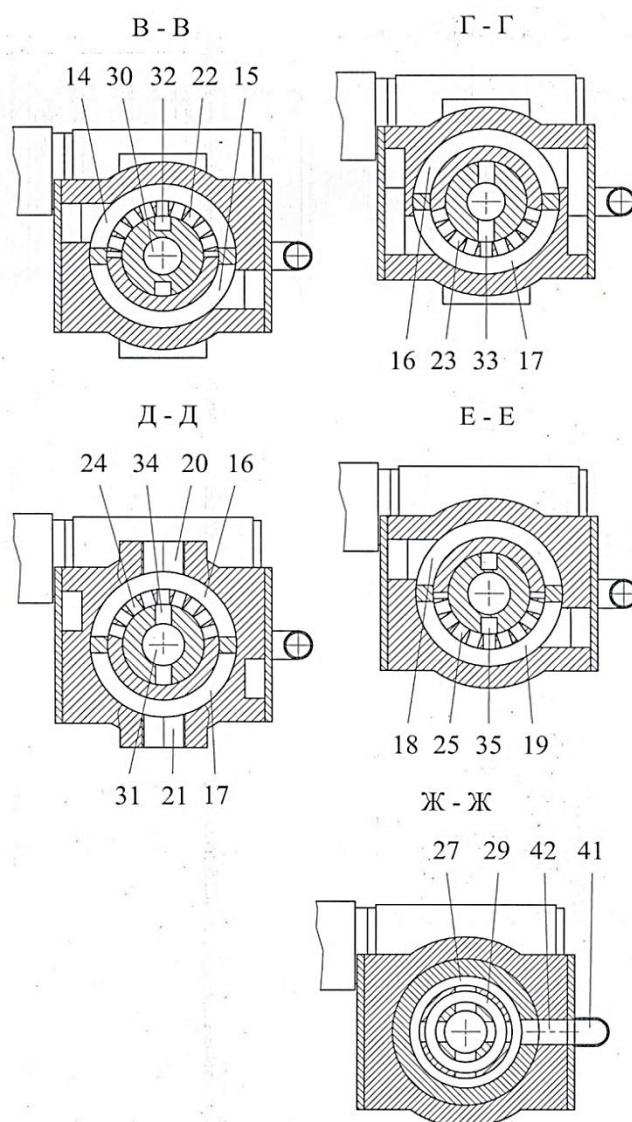


Рисунок 2 – Однопоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции наружного зацепления и гидрораспределительного модуля (продолжение рисунка 1)

Шестеренная насосная секция 1 выполнена наружного зацепления, содержит шестерни 3, 4, образующие в корпусе 5 всасывающую полость 6, и напорную полость 7. Шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 8.

Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 9, подвижную распределительную втулку 10 и ротор 11. Неподвижная распределительная втулка 9 закреплена в корпусе 12 гидрораспределительного модуля 2. Подвижная распределительная втулка 10 установлена по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 9 с возможностью поворота на угол  $0 \pm 180^\circ$ . Ротор 11 установлен по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 10 и связан с валом 13, выполненным заодно с шестерней 3.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 9 образованы шесть сегментных пазов 14, 15, 16, 17, 18, 19 с центральными углами, составляющими  $\approx 180^\circ$ . Полости сегментных пазов 14,

17, 18 и 15, 16, 19 связаны между собой по группам. Насос шестеренный включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей к каналам 20, 21.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 10 образованы четыре группы продольных каналов 22, 23, 24, 25, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и на угол 180°, и две кольцевые канавки 26 и 27. Кольцевая канавка 26 образована полостями неподвижной распределительной втулки 9 и подвижной распределительной втулки 10.

На цилиндрической поверхности ротора 11 образованы две кольцевые канавки 28, 29, и по оси ротора 11 – два продольных канала 30, 31 связанные с полостями кольцевых канавок 28, 29 радиальными каналами. Также, на цилиндрической поверхности ротора 11 образованы четыре группы продольных каналов 32, 33, 34, 35 – по два диаметрально противоположных канала в группе, смещенных по оси, и расположенных в зонах продольных каналов 22, 23, 24, 25. Полости продольных каналов 32, 35 связаны с полостями кольцевых канавок 28, 29. Полости продольных каналов 33, 34 связаны с полостями продольных каналов 30, 31. Кольцевые канавки 28, 29 образованы в зонах кольцевых канавок 26, 27 и связаны с ними. Продольный канал 31 закрыт заглушкой.

Всасывающая полость 6 связана с полостью 36, образованной корпусами 5, 12, далее, с полостями кольцевых канавок 26, 28 и продольного канала 30. Также всасывающая полость 6 связана каналами 37, 38, трубопроводом 39 с контуром подпитки гидросистемы (не показана) при работе насоса шестеренного в закрытом контуре. Напорная полость 7 связана каналом 40, трубопроводом 41, каналом 42 с полостью кольцевой канавки 27.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 10 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 43 осуществляется автономным двигателем. Корпус 5 закрыт передней крышкой 44, корпус 12 – задней крышкой 45.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема шестеренной насосной секции 1 наружного зацепления и реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее работу насоса шестеренного в закрытом контуре.

При работе шестеренного насоса наружного зацепления приводной вал 8 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 3, 4. Ротор 11 гидрораспределительного модуля 2 приводится во вращение от приводного вала 8.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 10, магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 21 является сливной, а магистраль, подключенная к каналу 20 – напорной. Рабочая жидкость из сливной магистрали гидросистемы по каналу 21 поступает в полость сегментного паза 17, и в полости сегментных пазов 14, 18. Из полостей сегментных пазов 14, 17 рабочая жидкость через продольные каналы 22, 23, 32, 33, 30 поступа-

ет в полости кольцевых канавок 28, 26, в полость 36, и по каналам 38, 37 – во всасывающую полость 6 шестеренной насосной секции 1. Далее, рабочая жидкость во впадинах шестерен 3, 4 поступает в напорную полость 7 шестеренной насосной секции 1. Из напорной полости 7 рабочая жидкость по каналу 40, трубопроводу 41, каналу 42 поступает в полости кольцевых канавок 27, 29, продольных каналов 31, 34, 35. Из полостей продольных каналов 34, 35 рабочая жидкость через продольные каналы 24, 25 поступает в полости сегментных пазов 16, 19. Из полости сегментного паза 16 рабочая жидкость по каналу 20 поступает в напорную магистраль гидросистемы.

В данном положении подвижной распределительной втулки 10 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного наружного зацепления и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 20.

При повороте подвижной распределительной втулки 10 посредством автономного двигателя и червяка 43 на угол  $90^\circ$ , половина продольных каналов 22, 23 переместятся в зоны сегментных пазов 15, 16, а половина продольных каналов 22, 23 останется в зоне сегментных пазов 14, 17. Также, половина продольных каналов 24, 25 переместятся в зоны сегментных пазов 17, 18, а половина продольных каналов 24, 25 останется в зоне сегментных пазов 16, 19.

При данном положении подвижной распределительной втулки 10 всасывание рабочей жидкости осуществляется периодически из магистралей гидросистемы, подключенных к каналам 21, 20, а нагнетание – в магистрали гидросистемы, подключенные к каналам 20, 21. Обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем насоса шестеренного наружного зацепления и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы.

При повороте подвижной распределительной втулки 10 посредством автономного двигателя и червяка 43 на угол  $180^\circ$  продольные каналы 22, 23 переместятся в зоны сегментных пазов 15, 16, а продольные каналы 24, 25 переместятся в зоны сегментных пазов 17, 18.

При данном положении подвижной распределительной втулки 10, магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 20 является сливной, а магистраль, подключенная к каналу 21 – напорной. В данном положении подвижной распределительной втулки 10 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 21. Поток рабочей жидкости реверсирован.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 10 в диапазоне изменения угла от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  посредством автономного двигателя и червяка 43 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы в диапазоне от нулевого до максимального значений и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Насос шестеренный внутреннего зацепления (см. рисунок 3, 4), состоит из шестеренной насосной секции 1 внутреннего зацепления и гидрораспределительного модуля 2.

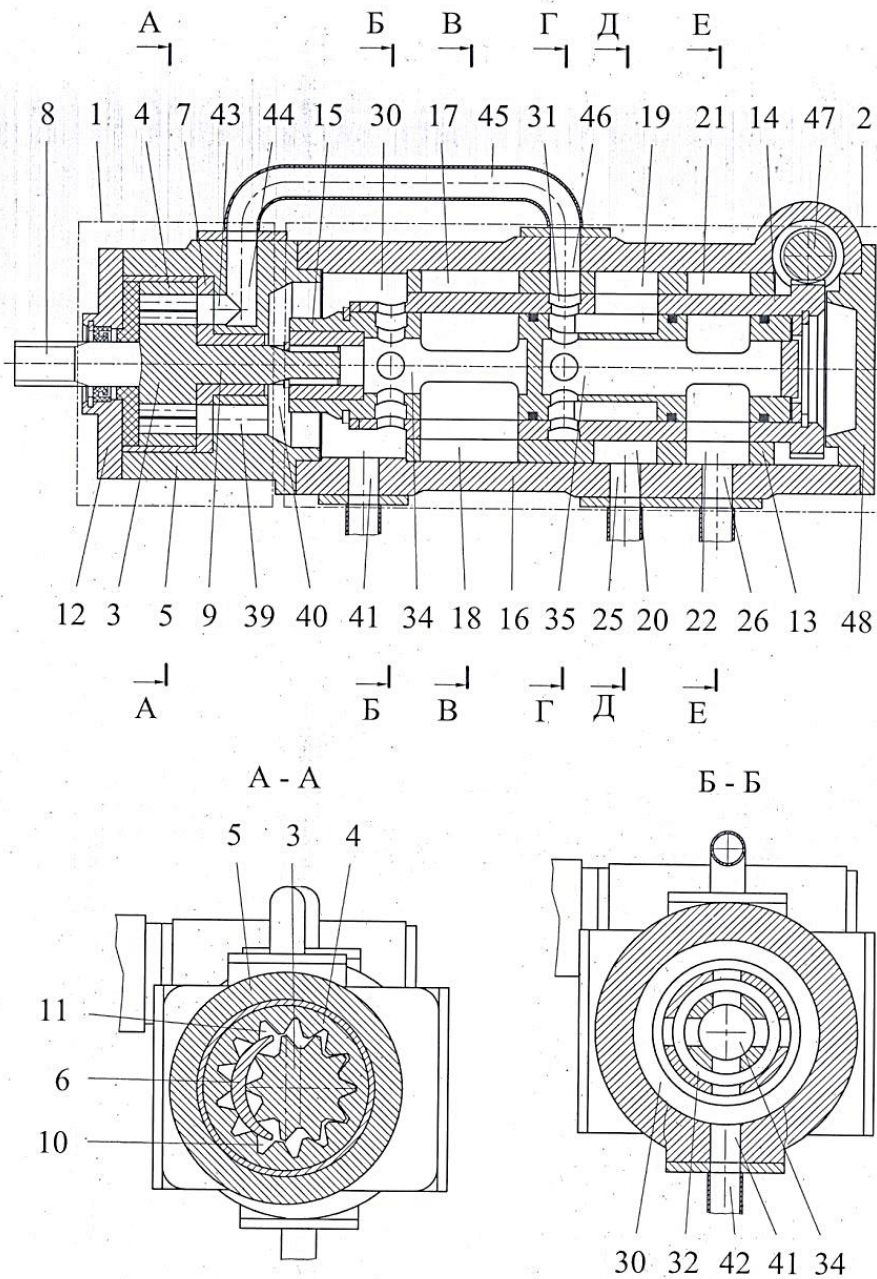


Рисунок 3 – Однопоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции внутреннего зацепления и гидрораспределительного модуля

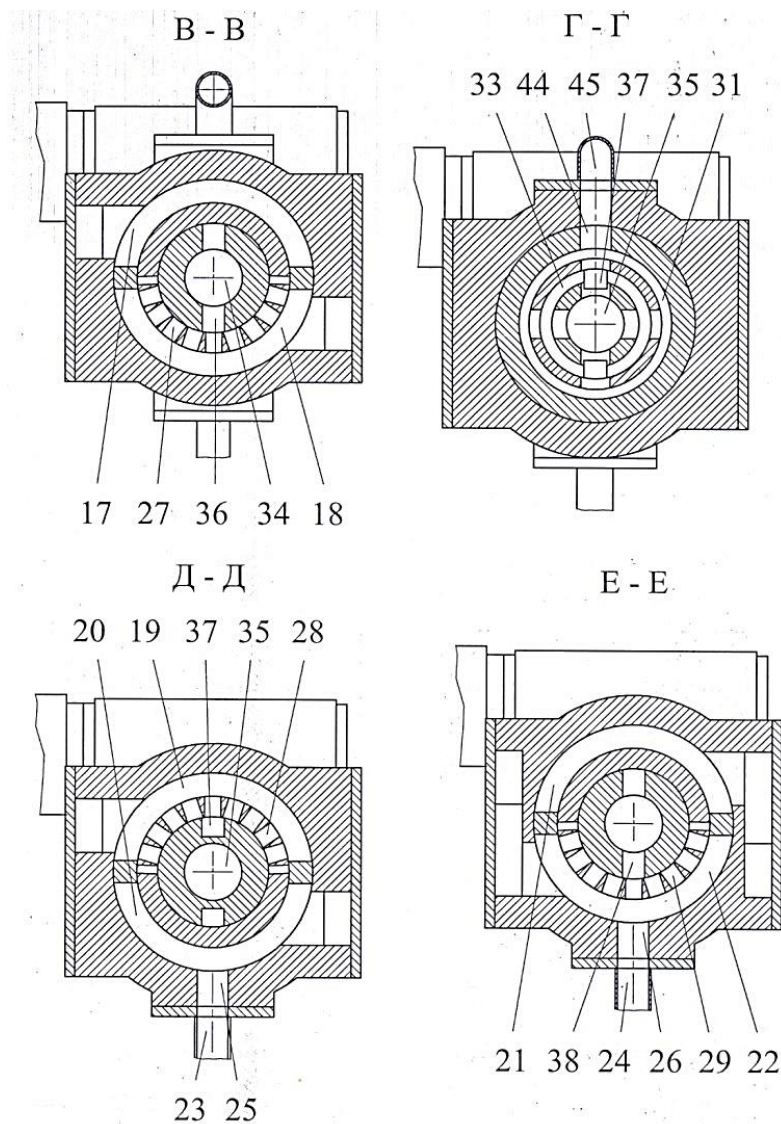


Рисунок 4 – Однопоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции внутреннего зацепления и гидрораспределительного модуля (продолжение рисунка 3)

Шестеренная насосная секция 1 внутреннего зацепления содержит внутреннюю шестерню 3 с наружными зубьями, охватывающую шестерню 4, на внутренней поверхности которой образованы внутренние зубья. Охватывающая шестерня 4 установлена с возможностью вращения в подшипнике скольжения корпуса 5. Оси внутренней шестерни 3 и охватывающей шестерни 4 смещены, между внутренней шестерней 3 и охватывающей шестерней 4 установлен серповидный разделительный элемент 6, выполненный заодно со ступицей 7, установленной в корпусе 5. Внутренняя шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 8 и валом 9 отбора мощности. При вращении приводного вала 8 с внутренней шестерней 3 по часовой стрелке внутренняя шестерня 3, охватывающая шестерня 4, серповидный разделительный элемент 6 образуют всасывающую полость 10, напорную полость 11. Корпус 5 закрыт передней крышкой 12.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивают изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного внутреннего зацепления и реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее работу насоса шестеренного внутреннего зацепления в гидравлическом закрытом контуре (не показан). Конструкция гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного внутреннего зацепления аналогична конструкции гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного внешнего зацепления (см. рисунок 1, 2).

Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 13, подвижную распределительную втулку 14, установленную по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 13, ротор 15. Неподвижная распределительная втулка 13 закреплена в корпусе 16. Подвижная распределительная втулка 14 установлена с возможностью поворота на угол  $0 \pm 180^\circ$ . Ротор 15 установлен по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 14 и связан с валом 9 отбора мощности.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 13 образованы шесть сегментных пазов 17, 18, 19, 20, 21, 22 с центральными углами, составляющими  $\approx 180^\circ$ . Полости сегментных пазов 17, 19, 22 и 18, 20, 21 связаны между собой по группам. Насос шестеренный внутреннего зацепления включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей трубопроводами 23 и 24 к каналам 25 и 26, связанными с сегментными пазами 18, 20, 21 и 17, 19, 22.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 14 образованы три группы продольных каналов 27, 28, 29, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и на угол  $180^\circ$ , и две кольцевые канавки 30 и 31. Кольцевая канавка 30 образована полостями корпуса 16, подвижной распределительной втулки 14 и ротора 15. Продольные каналы 27 образованы в зонах сегментных пазов 17, 18, продольные каналы 28 – в зонах сегментных пазов 19, 20, продольные каналы 29 – в зоне сегментных пазов 21, 22.

На цилиндрической поверхности ротора 15 образованы две кольцевые канавки 32, 33, и по оси ротора 15 – два продольных канала 34, 35, связанные с полостями кольцевых канавок 32, 33. Также, на цилиндрической поверхности ротора 15 образованы три группы продольных каналов 36, 37, 38 – по два диаметрально противоположных канала в группе, смещенных по оси, и расположенных в зонах продольных каналов 27, 28, 29. Полости продольных каналов 28 связаны с полостью кольцевой канавки 33. Полости продольных каналов 27, 29 связаны с полостями продольных каналов 34, 35. Кольцевые канавки 32, 33 образованы в зонах кольцевых канавок 30, 31 и связаны с ними радиальными каналами. Продольный канал 35 закрыт заглушкой.

Всасывающая полость 10 связана каналом 39 с полостью 40, образованной корпусами 5, 16, далее, с полостями кольцевых канавок 30, 32 и продольного канала 34. Полость кольцевой канавки 30 связана каналом 41, трубопроводом 42 с контуром подпитки гидросистемы (не показана) при работе насоса



шестеренного в закрытом контуре. Напорная полость 11 связана каналами 43, 44, трубопроводом 45, каналом 46 с полостью кольцевой канавки 31.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 14 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 47 осуществляется автономным двигателем. Корпус 16 закрыт задней крышкой 48.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема шестеренной насосной секции 1 внутреннего зацепления и реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее работу насоса шестеренного в закрытом контуре.

При работе насоса шестеренного внутреннего зацепления приводной вал 8 с внутренней шестерней 3 шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение охватывающую шестерню 4. Также, вал 9 отбора мощности приводит во вращение ротор 15 гидрораспределительного модуля 2.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 14, магистраль гидросистемы гидравлического закрытого контура (не показан), подключенная трубопроводом 23 к каналу 25 является сливной, а магистраль, подключенная трубопроводом 24 к каналу 26 – напорной. Рабочая жидкость из сливной магистрали гидравлического закрытого контура гидросистемы (не показан) по трубопроводу 23, каналу 25 поступает в полости сегментных пазов 20, 21, 18. Из полости сегментного паза 18 рабочая жидкость через продольные каналы 27, 36, 34 поступает в полости кольцевых канавок 32, 30, полость 40, и по каналу 39 – во всасывающую полость 10 шестеренного насоса внутреннего зацепления 1. Рабочая жидкость во впадинах внутренней шестерни 3, охватывающей шестерни 4 поступает в напорную полость 11, и по каналам 43, 44, трубопроводу 45, каналу 46 в полости кольцевых канавок 31, 33, продольных каналов 37, 38, 35. Из полостей продольных каналов 37, 38 рабочая жидкость через продольные каналы 28, 29 поступает в полости сегментных пазов 19, 22, 21. Из полости сегментного паза 22 рабочая жидкость по каналу 26, трубопроводу 24 поступает в напорную магистраль гидравлического закрытого контура гидросистемы (не показана).

В данном положении подвижной распределительной втулки 14 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную трубопроводом 24 к каналу 26.

При повороте подвижной распределительной втулки 14 посредством автономного двигателя и червяка 47 на угол  $90^\circ$ , половина продольных каналов 27 переместятся в зону сегментного паза 17, а половина продольных каналов 27 останется в зоне сегментного паза 18. Также, половина продольных каналов 28, 29 переместятся в зоны сегментных пазов 20, 21, а половина продольных каналов 28, 29 останется в зоне сегментных пазов 19, 22.

При данном положении подвижной распределительной втулки 14 всасывание рабочей жидкости осуществляется периодически из магистралей гидросистемы, подключенных трубопроводами 23, 24, к каналам 25, 26,

а нагнетание – в магистрали гидросистемы, подключенные трубопроводами 24, 23 к каналам 26, 25. Обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы.

При повороте подвижной распределительной втулки 14 посредством автономного двигателя и червяка 47 на угол  $180^\circ$  продольные каналы 27 переместятся в зону сегментного паза 17, а продольные каналы 28, 29 переместятся в зоны сегментных пазов 20, 21.

При данном положении подвижной распределительной втулки 14, магистраль гидросистемы, подключенная трубопроводом 24 к каналу 26 является сливной, а магистраль гидросистемы, подключенная трубопроводом 23 к каналу 25 – напорной. В данном положении подвижной распределительной втулки 14 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную трубопроводом 23 к каналу 25. Поток рабочей жидкости реверсирован.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 14 в диапазоне изменения угла от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  посредством автономного двигателя и червяка 47 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного внутреннего зацепления и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы в диапазоне от нулевого до максимального значений и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного внутреннего зацепления.

Использование шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 исключает пульсацию давления в напорной магистрали гидравлического закрытого контура гидросистемы (не показана) и обеспечивает при работе минимальный уровень шума.

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. Модульный подход позволит создавать типоразмерные ряды регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей предлагаемых конструкций. Модульный принцип построения не исключает возможности применения шестеренных насосов постоянного объема без гидрораспределительных модулей. При этом посадочный фланец корпуса шестеренного насоса закрывается крышкой. Данное направление создания шестеренных насосов переменного эквивалентного объема является весьма перспективным, и не требует существенного пересмотра сложившихся технологий производства насосов.

## Литература

1. 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. Кондратьев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. Ю. Рогов; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск : БНТУ, 2015. – 376 с.

2. 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. Кондратьев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. А. Барташевич; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск : БНТУ, 2016. – 353 с.

3. 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.

4. 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.

5. Насос шестеренный : полезная модель 13005 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, В. В. Журавлев, Д. Н. Миронов ; дата публ.: 2022.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2022. – № 5.

6. Насос шестеренный : полезная модель 13023 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, Д. Н. Миронов ; дата публ.: 2022.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2022. – № 5.

7. 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.

8. Котлобай, А. Я. Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, А. И. Герасимюк, Ю. Ш. Юнусов, Д. В. Быковский // Инженер-механик. – 2018. – № 4 (81). – С. 12–18.