

## **РАЗДЕЛЬНО АГРЕГАТНАЯ ОБЪЕМНАЯ ГИДРОПЕРЕДАЧА ПРИВОДОВ МАШИН ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ НА БАЗЕ ШЕСТЕРЕННЫХ ГИДРОМАШИН ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

**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*

Объемная гидropередача в приводах оборудования машин инженерного вооружения позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости ходового и технологического оборудования, расширяет возможности компоновочных решений. 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 [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 объемной гидropередачи на базе шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля [5], [6] и шестеренного гидромотора. При разработке основных концепций формирования гидрораспределительных модулей авторами предложен мало энергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема [7], [8], [9], [10].

Разработаны конструктивные схемы объемной гидropередачи на базе насоса шестеренного переменного эквивалентного объема реверсирующего поток рабочей жидкости и шестеренного гидромотора постоянного объема.

Объемная гидropередача выполнена отдельно агрегатной, включает насосный агрегат (рисунок 1), моторный агрегат (рисунок 2). Насосный агрегат состоит из шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 и гидрораспределительного модуля 2. Моторный агрегат состоит из шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3 и выходного планетарного редуктора 4.

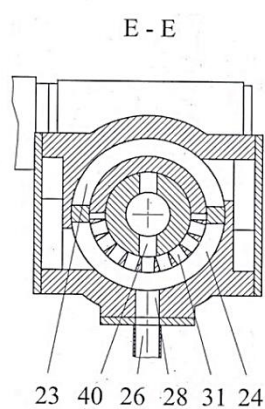
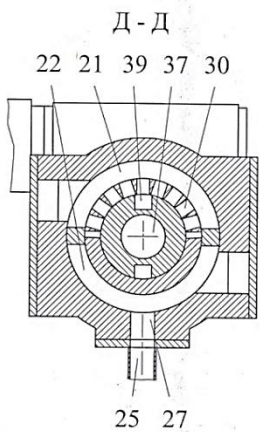
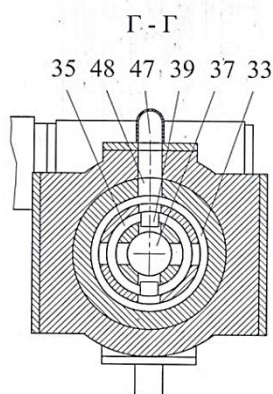
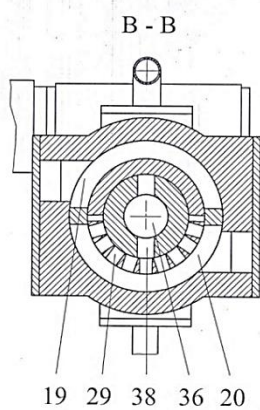
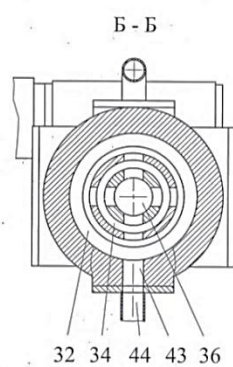
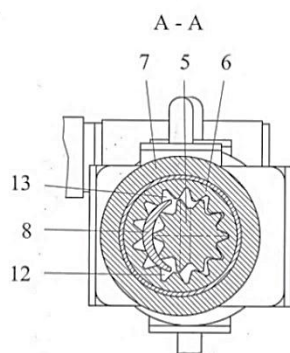
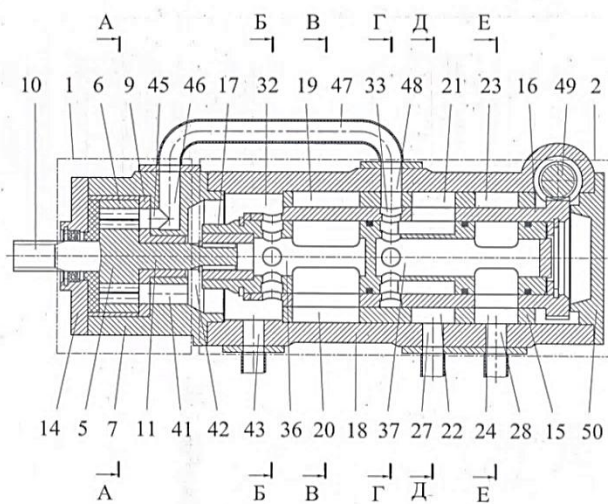


Рисунок 1 – Насосный агрегат

Шестеренный насос внутреннего зацепления 1 содержит внутреннюю шестерню 5 с наружными зубьями, охватывающую шестерню 6, на внутренней поверхности которой образованы внутренние зубья. Охватывающая шестерня 6 установлена с возможностью вращения в подшипнике скольжения корпуса 7. Оси внутренней шестерни 5 и охватывающей шестерни 6 смещены, между внутренней шестерней 5 и охватывающей шестерней 6 установлен серповидный разделительный элемент 8, выполненный заодно со ступицей 9, установленной в корпусе 7. Внутренняя шестерня 5 выполнена заодно с приводным валом 10 и валом 11 отбора мощности. При вращении приводного вала 10 с внутренней шестерней 5 по часовой стрелке внутренняя шестерня 5, охватывающая шестерня 6, серповидный разделительный элемент 8 образуют всасывающую полость 12, напорную полость 13. Корпус 7 закрыт передней крышкой 14.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивают изменение эквивалентного рабочего объема шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 и реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее работу шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 в гидравлическом закрытом контуре (не показан).

Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 15, подвижную распределительную втулку 16, установленную по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 15, ротор 17. Неподвижная распределительная втулка 15 закреплена в корпусе 18. Подвижная распределительная втулка 16 установлена с возможностью поворота на угол  $0 \pm 180^\circ$ . Ротор 17 установлен по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 16 и связан с валом 11 отбора мощности.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 15 образованы шесть сегментных пазов 19, 20, 21, 22, 23, 24 с центральными углами, составляющими  $\approx 180^\circ$ . Полости сегментных пазов 19, 21, 24 и 20, 22, 23 связаны между собой по группам. Насосный агрегат включается в объемную гидropередачу посредством подключения рабочих полостей шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3 трубопроводами 25 и 26 к каналам 27 и 28, связанными с сегментными пазами 20, 22, 23 и 19, 21, 24.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 16 образованы три группы продольных каналов 29, 30, 31, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и на угол  $180^\circ$ , и две кольцевые канавки 32 и 33. Кольцевая канавка 32 образована полостями корпуса 18, подвижной распределительной втулки 16 и ротора 17. Продольные каналы 29 образованы в зонах сегментных пазов 19, 20, продольные каналы 30 – в зонах сегментных пазов 21, 22, продольные каналы 31 – в зоне сегментных пазов 23, 24.

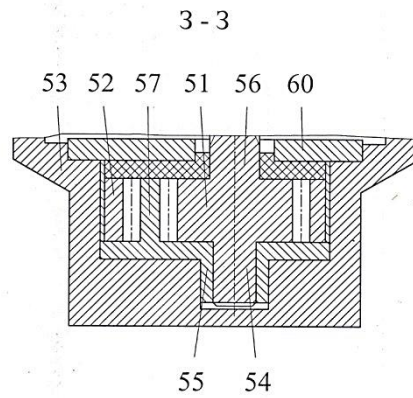
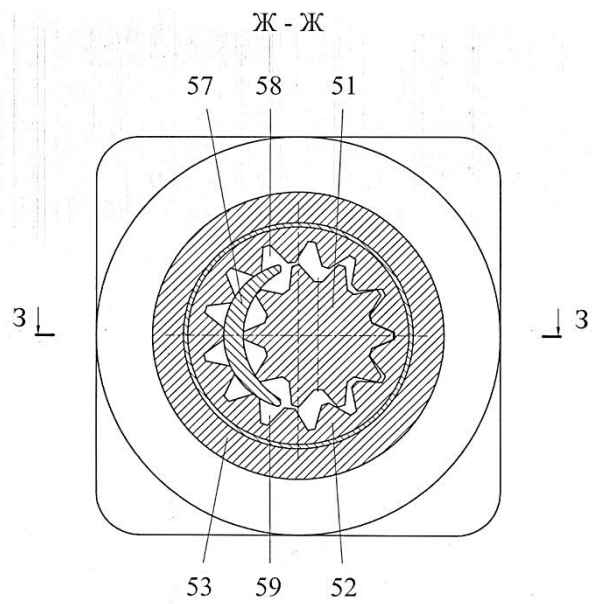
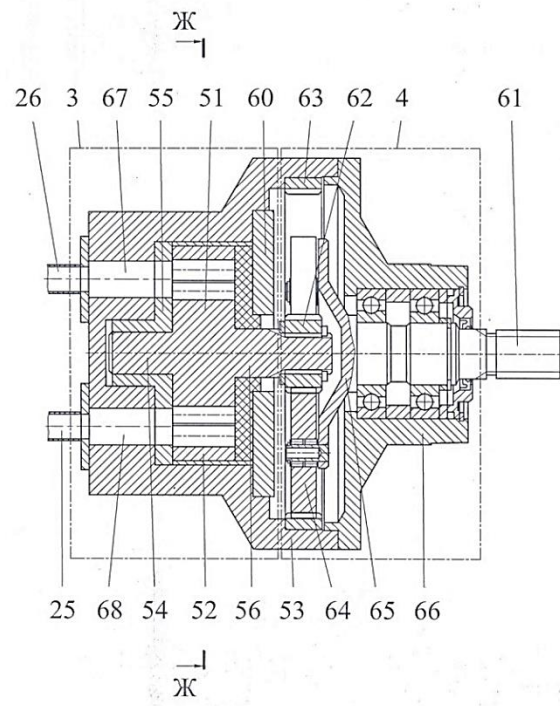


Рисунок 2 – Моторный агрегат

На цилиндрической поверхности ротора 17 образованы две кольцевые канавки 34, 35, и по оси ротора 17 – два продольных канала 36, 37, связанные с полостями кольцевых канавок 34, 35. Также, на цилиндрической поверхности ротора 17 образованы три группы продольных каналов 38, 39, 40 – по два диаметрально противоположных канала в группе, смещенных по оси, и расположенных в зонах продольных каналов 29, 30, 31. Полости продольных каналов 30 связаны с полостью кольцевой канавки 35. Полости продольных каналов 29, 31 связаны с полостями продольных каналов 36, 37. Кольцевые канавки 34, 35 образованы в зонах кольцевых канавок 32, 33 и связаны с ними радиальными каналами. Продольный канал 37 закрыт заглушкой.

Всасывающая полость 12 связана каналом 41 с полостью 42, образованной корпусами 7, 18, далее, с полостями кольцевых канавок 32, 34 и продольного канала 36. Полость кольцевой канавки 32 связана каналом 43, трубопроводом 44 с контуром подпитки гидросистемы (не показана). Напорная полость 13 связана каналами 45, 46, трубопроводом 47, каналом 48 с полостью кольцевой канавки 33.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 16 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 49 осуществляется автономным двигателем. Корпус 18 закрыт задней крышкой 50.

Шестеренный гидромотор внутреннего зацепления 3 содержит внутреннюю шестерню 51 с наружными зубьями, охватывающую шестерню 52, на внутренней поверхности которой образованы внутренние зубья. Охватывающая шестерня 52 установлена с возможностью вращения в подшипнике скольжения корпуса 53. Внутренняя шестерня 51 выполнена заодно с валом 54, установленным с возможностью вращения в ступице 55, закрепленной в корпусе 53, а также с ведомым валом 56 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3. Оси внутренней шестерни 51 и охватывающей шестерни 52 смещены, между внутренней шестерней 51 и охватывающей шестерней 52 установлен серповидный разделительный элемент 57, выполненный заодно со ступицей 55. Внутренняя шестерня 51, охватывающая шестерня 52, серповидный разделительный элемент 57 образуют рабочие полости 58, 59. Осевое перемещение внутренней шестерни 51, охватывающей шестерни 52 ограничено крышкой 60.

Выходной планетарный редуктор 4 установлен в кинематической линии связи ведомого вала 56 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3 и ведомого вала 61 моторного агрегата, включает солнечную шестерню 62, установленную на ведомом валу 56 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3, и связанную с ведомым валом 56, коронную шестерню 63, установленную в корпусе 53, и сателлиты 64, установленные на осях водила 65, выполненного заодно с ведомым валом 61 моторного агрегата, установленном в подшипниковом узле крышки 66 корпуса 53.

Рабочая полость 58 связана каналом 67, трубопроводом 26, каналом 28 с полостями сегментных пазов 19, 21, 24. Рабочая полость 59 связана каналом 68, трубопроводом 25, каналом 27 с полостями сегментных пазов 20, 22, 23.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 и реверсирование потока рабочей жидкости, обеспечивая реверсирование направления вращения ведомого вала 61.

При работе объемной гидropередачи приводной вал 10 с внутренней шестерней 5 шестеренного насоса внутреннего зацепления 1 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение охватывающую шестерню 6. Также, вал 11 отбора мощности приводит во вращение ротор 17 гидрораспределительного модуля 2.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 16 (см. рисунок 1) рабочая жидкость из рабочей полости 59 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3 по каналу 68, трубопроводу 25, каналу 27 поступает в полости сегментных пазов 22, 23, 20. Из полости сегментного паза 20 рабочая жидкость через продольные каналы 29, 38, 36 поступает в полость кольцевой канавки 32. Из полости кольцевой канавки 32 рабочая жидкость поступает в полость 42, и по каналу 41 – во всасывающую полость 12 шестеренного насоса внутреннего зацепления 1. Далее, рабочая жидкость во впадинах зубьев внутренней шестерни 5, охватывающей шестерни 6 поступает в напорную полость 13. Из напорной полости 13 рабочая жидкость по каналам 45, 46, трубопроводу 47, каналу 48 поступает в полости кольцевых канавок 33, 35, продольных каналов 39, 40, 37. Из полостей продольных каналов 39, 37, 40 рабочая жидкость через продольные каналы 30, 31 поступает в полости сегментных пазов 21, 24, 19. Из полости сегментного паза 24 рабочая жидкость по каналу 28, трубопроводу 26, каналу 67 поступает в рабочую полость 58 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3. Из рабочей полости 58 рабочая жидкость во впадинах внутренней шестерни 51, охватывающей шестерни 52 поступает в рабочую полость 59, приводя во вращение против часовой стрелки внутреннюю шестерню 51 с ведомым валом 56 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3, охватывающую шестерню 52, солнечную шестерню 62 выходного планетарного редуктора 4. При вращении солнечной шестерни 62 вращаются сателлиты 64, взаимодействующие с коронной шестерней 63, водило 65 с ведомым валом 61 моторного агрегата.

В данном положении подвижной распределительной втулки 16 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость 58 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3, обеспечивая максимальную скорость вращения ведомого вала 61 моторного агрегата при вращении против часовой стрелки.

При повороте подвижной распределительной втулки 16 посредством автономного двигателя и червяка 49 на угол 90°, половина продольных каналов 29 переместятся в зону сегментного паза 19, а половина продольных каналов 29 останется в зоне сегментного паза 20. Также, половина продольных каналов

30, 31 переместятся в зоны сегментных пазов 22, 23, а половина продольных каналов 30, 31 останется в зоне сегментных пазов 21, 24.

При данном положении подвижной распределительной втулки 16 всасывание рабочей жидкости осуществляется периодически из рабочих полостей 59, 58, а нагнетание – в рабочие полости 58, 59. Обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления 1 и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в рабочие полости 58, 59 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3. Ведомый вал 61 остановлен.

При повороте подвижной распределительной втулки 16 посредством автономного двигателя и червяка 49 на угол  $180^\circ$  продольные каналы 29 переместятся в зону сегментного паза 19, а продольные каналы 30, 31 переместятся в зоны сегментных пазов 22, 23.

При данном положении подвижной распределительной втулки 16 рабочая жидкость из рабочей полости 58 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3 по каналу 67, трубопроводу 26, каналу 28 поступает в полости сегментных пазов 24, 21, 19. Из полости сегментного паза 19 рабочая жидкость через продольные каналы 29, 38, 36 поступает в полость кольцевой канавки 32. Из полости кольцевой канавки 32 рабочая жидкость поступает в полость 42, и по каналу 41 – во всасывающую полость 12 шестеренного насоса внутреннего зацепления 1. Далее, рабочая жидкость во впадинах зубьев внутренней шестерни 5, охватывающей шестерни 6 поступает в напорную полость 13. Из напорной полости 13 рабочая жидкость по каналам 45, 46, трубопроводу 47, каналу 48 поступает в полости кольцевых канавок 33, 35, продольных каналов 39, 40, 37. Из полостей продольных каналов 39, 37, 40 рабочая жидкость через продольные каналы 30, 31 поступает в полости сегментных пазов 22, 20, 23. Из полости сегментного паза 22 рабочая жидкость по каналу 27, трубопроводу 25, каналу 68 поступает в рабочую полость 59 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3. Из рабочей полости 59 рабочая жидкость во впадинах внутренней шестерни 51, охватывающей шестерни 52 поступает в рабочую полость 58, приводя во вращение по часовой стрелке внутреннюю шестерню 51 с ведомым валом 56 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3, охватывающую шестерню 52, солнечную шестерню 62 выходного планетарного редуктора 4. При вращении солнечной шестерни 62 вращаются сателлиты 64, взаимодействующие с коронной шестерней 63, водило 65 с ведомым валом 61 моторного агрегата.

В данном положении подвижной распределительной втулки 16 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного внутреннего зацепления и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость 59 шестеренного гидромотора внутреннего зацепления 3, обеспечивая максимальную скорость вращения ведомого вала 61 моторного агрегата по часовой стрелке.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 16 в диапазоне изменения угла от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  посредством автономного двигателя и чер-

вяка 49 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного внутреннего зацепления и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль гидромотора в диапазоне от нулевого до максимального значений и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного внутреннего зацепления и ведомого вала моторного агрегата.

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

## 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 [и др.]; 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 [и др.]; 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 [и др.] // Инженер-механик. – 2017. – № 1 (74). – С. 10–17.

4. Котлобай, А. Я. Обоснование целесообразности применения гидропривода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А. Я. Котлобай [и др.] // 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 [и др.] // Инженер-механик. – 2018. – № 4 (81). – С. 12–18.

9. Объемная гидropередача : полезная модель 12393 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай ; дата публ.: 2020.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 4.

10. Объемная гидropередача : полезная модель 12430 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. А. Почебыт, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, Ю. Ш. Юнусов, Д. Н. Миронов ; дата публ.: 2020.10.31 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 5.