

ТРЕХПОТОЧНЫЕ ШЕСТЕРЕННЫЕ НАСОСЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ МАШИН ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ

Котлобай А. Я., кандидат технических наук, доцент,
Журавлев В. В.,
Миронов Д. Н., кандидат технических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования погрузчиков с бортовым поворотом осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема. 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 наименьшими 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, в том числе и роботизированных систем авторы рассмотрели возможность создания трехпоточных насосов шестеренных на базе трехпоточной шестеренной насосной секции постоянного объема, и двух гидрораспределительных модулей [5]. При разработке основных концепций формирования гидрораспределительных модулей авторами предложен мало энергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема [6], [7]. Рассматриваются вопросы разработки многопоточных шестеренных насосов, обеспечивающих три, четыре независимых потока рабочей жидкости с возможностями изменения их параметров [8], [9], [10].

Разработаны конструктивные схемы трехпоточного насоса шестеренного, обеспечивающего возможности изменения параметров двух эквивалентных объемов и реверсирования двух потоков рабочей жидкости. Рассмотрим вариант реализации трехпоточного насоса шестеренного на базе трехпоточной шестеренной насосной секции наружного и внутреннего зацепления (см. рисунок 1, 2, 3).

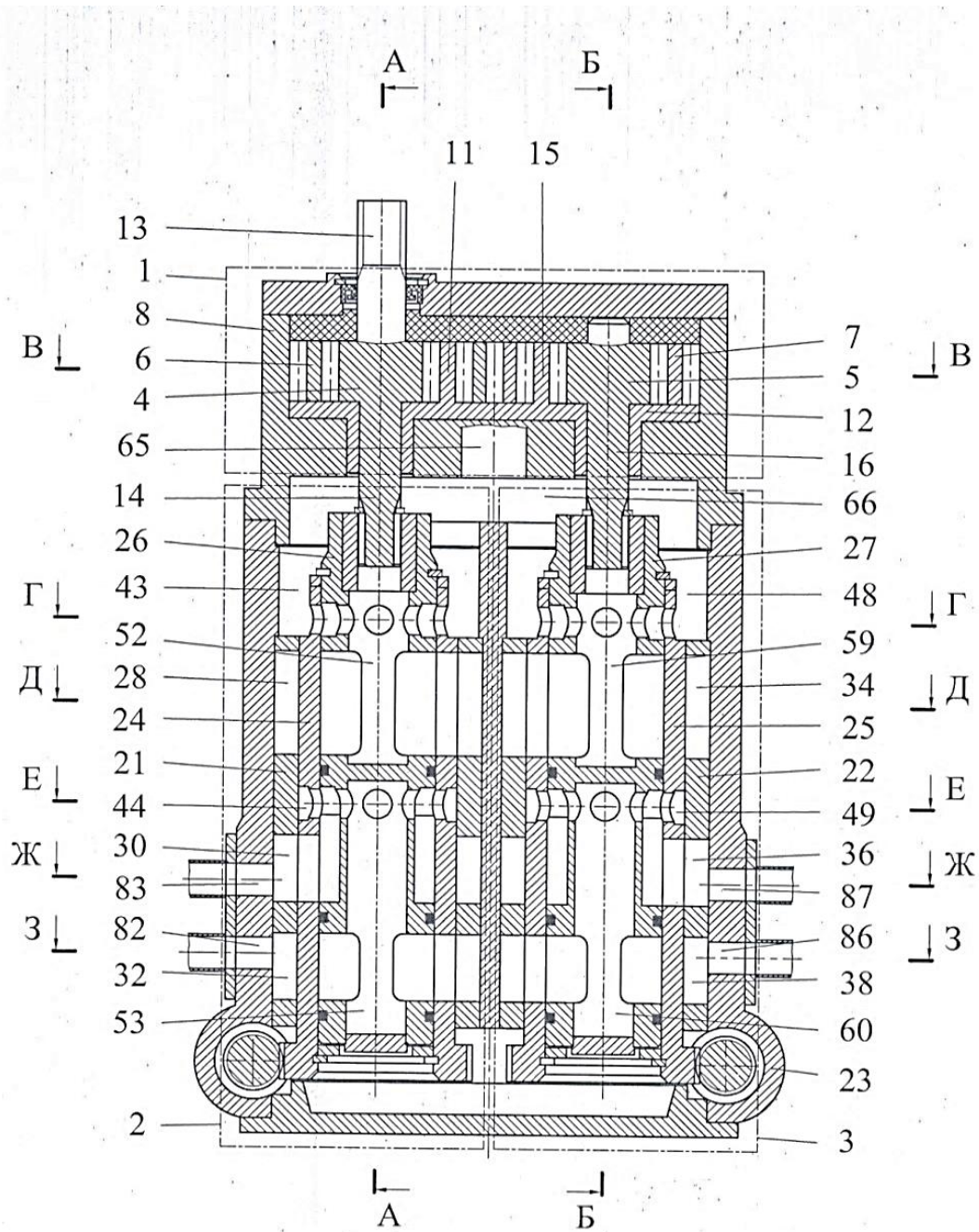


Рисунок 1 – Трехпоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции наружного и внутреннего зацепления и гидрораспределительных модулей

Насосный агрегат включает шестеренную насосную секцию 1, гидрораспределительный модуль 2, гидрораспределительный модуль 3.

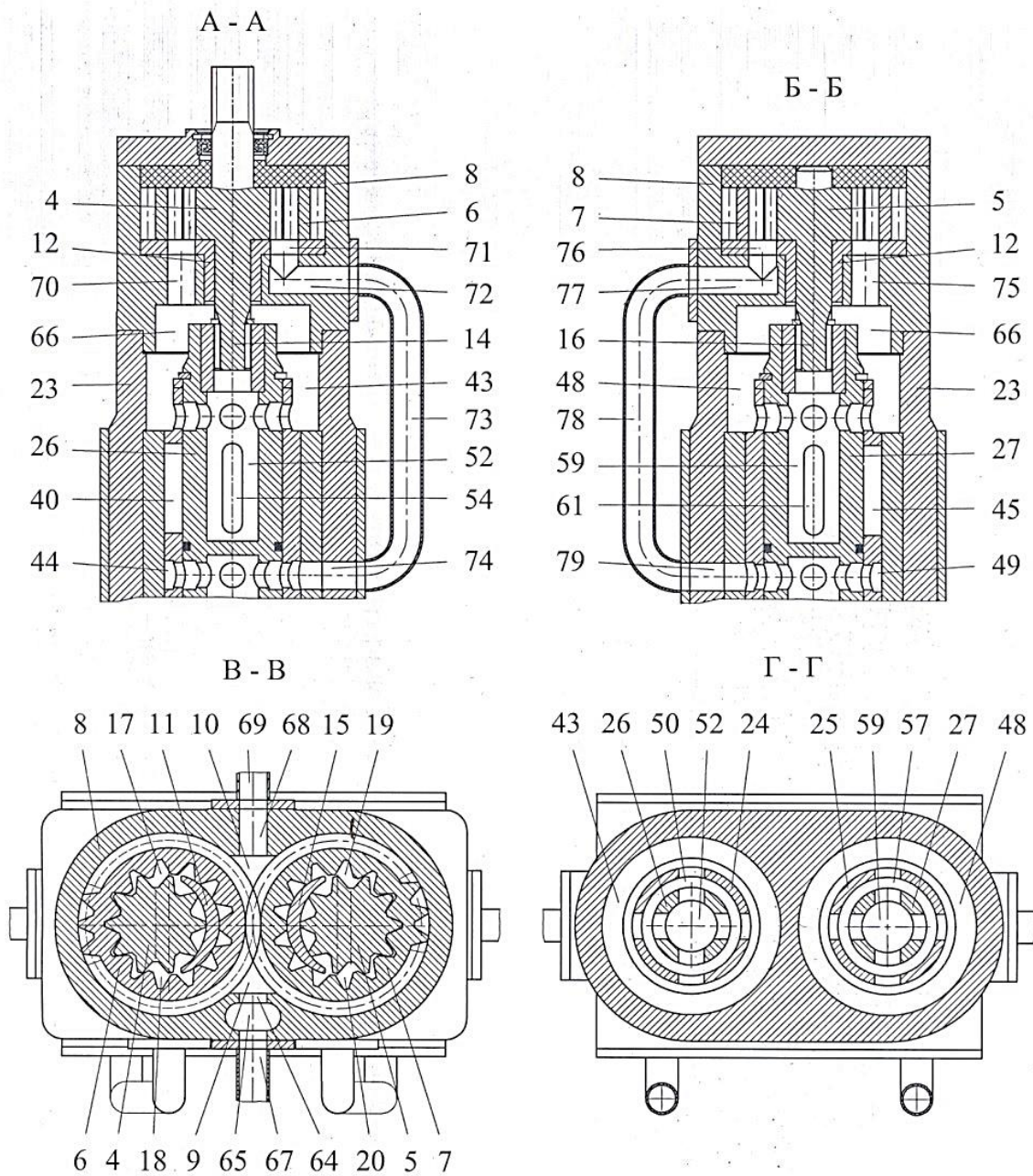


Рисунок 2 – Трехпоточный насос шестеренный на базе шестеренной насосной секции наружного и внутреннего зацепления и гидрораспределительных модулей (продолжение рисунка 1)

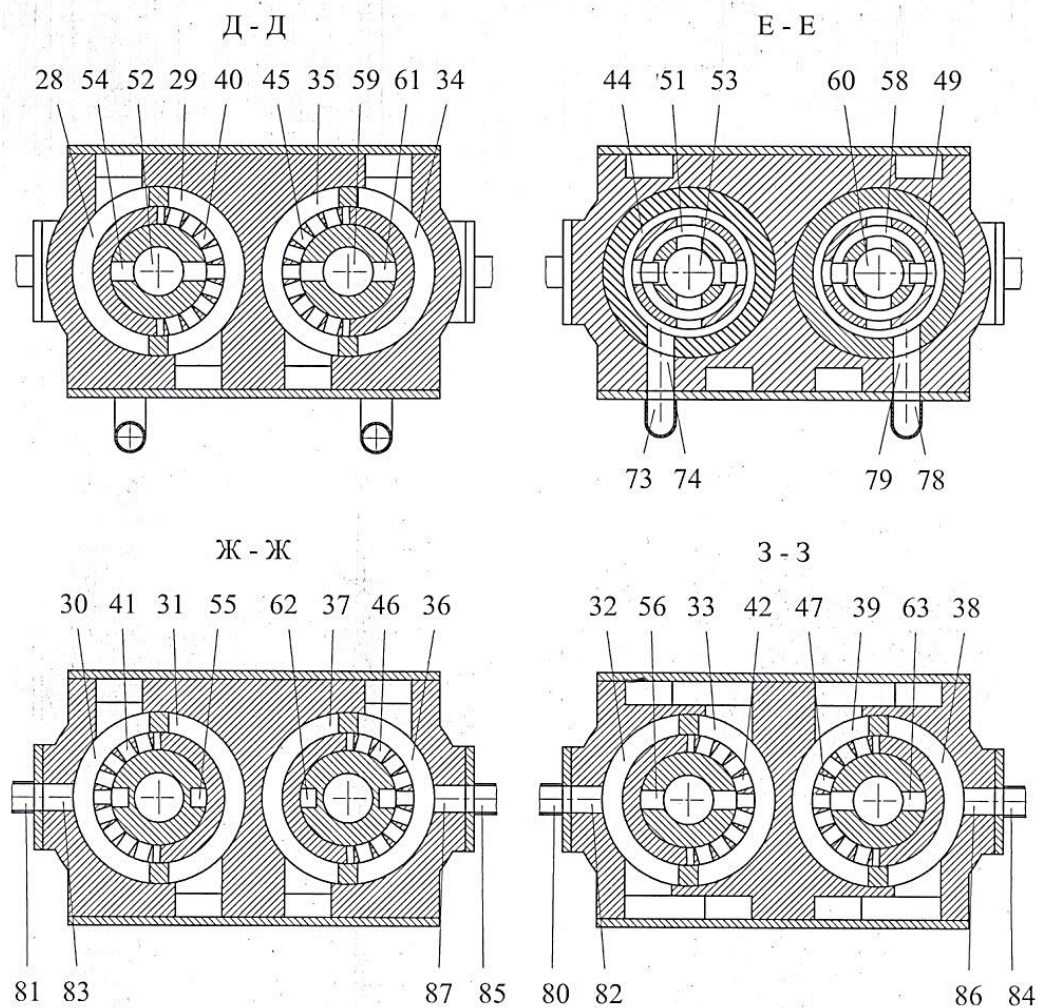


Рисунок 3 – Трехпоточный насос шестеренный
на базе шестеренной насосной секции наружного и внутреннего
зацепления и гидрораспределительных модулей (продолжение рисунков 1, 2)

Шестеренная насосная секция 1 выполнена трехпоточной и включает внутреннюю шестерню 4 с наружными зубьями, внутреннюю шестерню 5 с наружными зубьями, охватывающую шестерню 6 с зубьями, образованными на наружной и внутренней поверхностях, охватывающую шестерню 7 с зубьями, образованными на наружной и внутренней поверхностях. Охватывающие шестерни 6, 7 установлены с возможностью вращения в корпусе 8, связаны наружными зубьями, формируют первый рабочий объем, образованный всасывающей полостью 9 и напорной полостью 10, обеспечивая при вращении первый поток рабочей жидкости.

Оси внутренней шестерни 4 и охватывающей шестерни 6 смещены, между внутренней шестерней 4 и охватывающей шестерней 6 установлен серповидный разделительный элемент 11, выполненный заодно со ступицей 12, установленной в корпусе 8. Внутренняя шестерня 4 выполнена заодно с приводным валом 13, валом 14 отбора мощности, установленным в ступице 12 с возможностью вращения. Оси внутренней шестерни 5 и охватываю-

щей шестерни 7 смещены, между внутренней шестерней 5 и охватывающей шестерней 7 установлен серповидный разделительный элемент 15, выполненный заодно со ступицей 12. Внутренняя шестерня 5 выполнена заодно с валом 16 отбора мощности, установленным в ступице 12 с возможностью вращения.

При вращении приводного вала 13 с внутренней шестерней 4 по часовой стрелке, внутренняя шестерня 4, охватывающая шестерня 6, серповидный разделительный элемент 15 образуют всасывающую полость 17, напорную полость 18, формирующие второй рабочий объем, обеспечивая при вращении приводного вала 13 второй поток рабочей жидкости. При вращении приводного вала 13 с внутренней шестерней 4, охватывающей шестерней 6 по часовой стрелке, внутренняя шестерня 5, связанная с охватывающей шестерней 7 и валом 16 отбора мощности вращаются против часовой стрелки. Внутренняя шестерня 5, охватывающая шестерня 7, серповидный разделительный элемент 15 образуют всасывающую полость 19, напорную полость 20, формирующие третий рабочий объем, обеспечивая при вращении приводного вала 13 третий поток рабочей жидкости.

Корпус 8 закрыт передней крышкой.

Гидрораспределительные модули 2 и 3 обеспечивают изменение второго и третьего эквивалентных рабочих объемов шестеренной насосной секции 1 и реверсирование второго и третьего потоков рабочей жидкости. Гидрораспределительные модули 2, 3 включают неподвижные распределительные втулки 21, 22, установленные в корпусе 23, подвижные распределительные втулки 24, 25, установленные в неподвижных распределительных втулках 21, 22 с возможностью поворота на угол $0 \pm 180^\circ$ посредством червячных передач, роторы 26, 27, связанные с валами отбора мощности 14, 16. Корпус 23 закрыт задней крышкой.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 21 образованы шесть сегментных пазов 28, 29, 30, 31, 32, 33 с центральными углами, составляющими $\approx 180^\circ$. Полости сегментных пазов 28, 31, 32 и 29, 30, 33 связаны между собой по группам.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 22 образованы шесть сегментных пазов 34, 35, 36, 37, 38, 39 с центральными углами, составляющими $\approx 180^\circ$. Полости сегментных пазов 34, 37, 38 и 35, 36, 39 связаны между собой по группам.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 24 образованы три группы продольных каналов 40, 41, 42, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и на угол 180° , и две кольцевые канавки 43, 44. Кольцевая канавка 43 образована полостями корпуса 23, подвижной распределительной втулки 24 и ротора 26.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 25 образованы три группы продольных каналов 45, 46, 47, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и на угол 180° , и две

кольцевые канавки 48, 49. Кольцевая канавка 48 образована полостями корпуса 23, подвижной распределительной втулки 25 и ротора 27.

На цилиндрической поверхности ротора 26 образованы две кольцевые канавки 50, 51, связанные с полостями кольцевых канавок 43, 44, и по оси ротора 26 – два продольных канала 52, 53, связанные с полостями кольцевых канавок 50, 51. Также, на цилиндрической поверхности ротора 26 образованы три группы продольных каналов 54, 55, 56 – по два диаметрально противоположных канала в группе. Полости продольных каналов 55 связаны с полостью кольцевой канавки 51. Полости продольных каналов 54, 56 связаны с полостями продольных каналов 52, 53. Продольный канал 53 закрыт заглушкой.

На цилиндрической поверхности ротора 27 образованы две кольцевые канавки 57, 58, связанные с полостями кольцевых канавок 48, 49, и по оси ротора 27 – два продольных канала 59, 60, связанные с полостями кольцевых канавок 57, 58. Также, на цилиндрической поверхности ротора 27 образованы три группы продольных каналов 61, 62, 63 – по два диаметрально противоположных канала в группе. Полости продольных каналов 62 связаны с полостью кольцевой канавки 58. Полости продольных каналов 61, 63 связаны с полостями продольных каналов 59, 60. Продольный канал 60 закрыт заглушкой.

Всасывающая полость 9 первого рабочего объема связана каналами 64, 65 с полостью 66, образованной корпусами 8, 23, и трубопроводом 67 со сливной магистралью первого закрытого контура, а также с контуром подпитки гидросистемы (не показана). Напорная полость 10 первого рабочего объема связана каналом 68, трубопроводом 69 с напорной магистралью первого закрытого контура гидросистемы (не показана).

Всасывающая полость 17 второго рабочего объема связана каналом 70 с полостью 66, далее, с полостями кольцевых канавок 43, 50, продольных каналов 52, 54. Напорная полость 18 второго рабочего объема связана каналами 71, 72, трубопроводом 73, каналом 74 с полостями кольцевых канавок 44, 51 и продольных каналов 53, 55, 56.

Всасывающая полость 19 третьего рабочего объема связана каналом 75 с полостью 66, далее, с полостями кольцевых канавок 48, 57, продольных каналов 59, 61. Напорная полость 20 третьего рабочего объема связана каналами 76, 77, трубопроводом 78, каналом 79 с полостями кольцевых канавок 49, 58 и продольных каналов 60, 62, 63.

Насос шестеренный включается в гидросистему первого гидравлического закрытого контура (не показан) посредством подключения гидравлических магистралей, связанных с гидрораспределителем (не показан), трубопроводами 67 и 69 к каналам 64 и 68, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора, например «№ 1» (не показан).

Насос шестеренный включается в гидросистему второго гидравлического закрытого контура (не показан) посредством подключения гидравлических магистралей трубопроводами 80 и 81 к каналам 82 и 83, связанным с сег-

ментными пазами 32, 28, 31 и 30, 29, 33, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора, например «№ 2» (не показан).

Насос шестеренный включается в гидросистему третьего гидравлического закрытого контура (не показан) посредством подключения гидравлических магистралей трубопроводами 84 и 85 к каналам 86 и 87, связанными с сегментными пазами 38, 34, 37 и 36, 35, 39, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора, например «№ 3» (не показан).

При работе шестеренного насоса приводной вал 13 с внутренней шестерней 4 шестеренной насосной секции 1 вращается от двигателя (не показан), приводит во вращение охватывающую шестерню 6, вал 14 отбора мощности, связанный с ротором 26 гидрораспределительного модуля 2. Охватывающая шестерня 6 приводит во вращение охватывающую шестерню 7, внутреннюю шестерню 5 с валом 16 отбора мощности, ротор 27 гидрораспределительного модуля 3. При вращении приводного вала 13 по часовой стрелке ротор 26 вращается по часовой стрелке, а ротор 27 – против часовой стрелки.

Первый поток рабочей жидкости формируется всасывающей полостью 9, напорной полостью 10, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора, например «№ 1» (не показан), по каналам 65, 64 и 68, трубопроводами 67, 69. При этом, в магистрали рабочих полостей гидромотора «№ 1» гидросистемы (не показана) стандартно включается гидрораспределитель управления первым потоком рабочей жидкости (не показан) шестеренной насосной секции 1, обеспечивающий управление подачей рабочей жидкости в трех режимах: первый режим – подача рабочей жидкости в первую рабочую полость (условно) гидромотора «№ 1» (не показан) и слив рабочей жидкости из второй рабочей полости (условно); второй режим – запираание первой и второй рабочих полостей (условно), при этом гидрораспределитель управления первым потоком рабочей жидкости (не показан) обеспечивает подачу рабочей жидкости из напорной полости 10 во всасывающую полость 9; третий режим – подача рабочей жидкости во вторую рабочую полость гидромотора «№ 1» (не показан) и слив рабочей жидкости из первой рабочей полости (условно).

Назовем в дальнейшем эквивалентным рабочим объемом второго и третьего потоков рабочей жидкости шестеренной насосной секции 1 разность между рабочим объемом потока, формируемого шестеренной насосной секцией 1 в напорных полостях 18, 20 шестеренной насосной секции 1, и объемами рабочей жидкости, направляемой гидрораспределительным модулем 2, гидрораспределительным модулем 3 по трубопроводам 81 и 80, 85 и 84 за один оборот приводного вала 13 при работе шестеренной насосной секции 1 без нагрузки.

Второй поток рабочей жидкости формируется всасывающей полостью 17, напорной полостью 18, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора «№ 2» (не показан), по каналам 82, 83, трубопроводами 80, 81. При исходном положении подвижной распределительной втулки 24 рабочая полость гидро-

мотора «№ 2» (не показан), подключенная трубопроводом 80 к каналу 82 является сливной, а рабочая полость гидромотора «№ 2» (не показан), подключенная трубопроводом 81 к каналу 83 – напорной. Рабочая жидкость из рабочей полости гидромотора «№ 2» (не показан) по трубопроводу 80, каналу 82 поступает в полости сегментных пазов 32, 31, 29. Из полости сегментного паза 29 рабочая жидкость через продольные каналы 40, 54, 52 поступает в полости кольцевых канавок 50, 43, полость 66, и по каналу 70 – во всасывающую полость 17 шестеренной насосной секцией 1. Рабочая жидкость во впадинах внутренней шестерни 4, охватывающей шестерни 6 поступает в напорную полость 18, и по каналам 71, 72, трубопроводу 73, каналу 74 в полости кольцевых канавок 44, 51, продольных каналов 53, 55, 56. Из полостей продольных каналов 55, 56 рабочая жидкость через продольные каналы 41, 42 поступает в полости сегментных пазов 30, 33, 28. Из полости сегментного паза 30 рабочая жидкость по каналу 83, трубопроводу 81 поступает в рабочую полость гидромотора «№ 2» (не показан).

В данном положении подвижной распределительной втулки 24 обеспечивается максимальный второй эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 2» (не показан) по каналу 83, трубопроводу 81.

При повороте подвижной распределительной втулки 24 посредством червячной передачи на угол 90° , половина продольных каналов 40 переместятся в зону сегментного паза 28, а половина продольных каналов 40 останется в зоне сегментного паза 29. Также, половина продольных каналов 41, 42 переместятся в зоны сегментных пазов 31, 32, а половина продольных каналов 41, 42 останется в зоне сегментных пазов 30, 33.

При данном положении подвижной распределительной втулки 24 всасывание рабочей жидкости осуществляется периодически из рабочих полостей гидромотора «№ 2» (не показан), периодически подключенных трубопроводами 80, 81 к каналам 82, 83, а нагнетание рабочей жидкости осуществляется периодически в рабочие полости гидромотора «№ 2» (не показан), подключенные трубопроводами 81, 80 к каналам 83, 82. Обеспечивается минимальный (нулевой) второй эквивалентный объем шестеренной насосной секции 1 и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в рабочие полости гидромотора «№ 2» (не показан).

При повороте подвижной распределительной втулки 24 посредством червячной передачи на угол 180° продольные каналы 40 переместятся в зону сегментного паза 28, а продольные каналы 41, 42 переместятся в зоны сегментных пазов 31, 32. При данном положении подвижной распределительной втулки 24 рабочая полость гидромотора «№ 2» (не показан) подключенная трубопроводом 81 к каналу 83 является сливной, а рабочая полость гидромотора «№ 2» (не показан) подключенная трубопроводом 80 к каналу 82 – напорной.

В данном положении подвижной распределительной втулки 24 обеспечивается максимальный второй эквивалентный объем шестеренной насосной

секции 1 и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 2» (не показан) по каналу 82, трубопроводу 80. Поток рабочей жидкости реверсирован.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 24 в диапазоне изменения угла поворота от 0° до 180° посредством червячной передачи добиваемся плавного изменения второго эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 2» (не показан) в диапазоне от нулевого до максимального значений и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Третий поток рабочей жидкости формируется всасывающей полостью 19, напорной полостью 20, обеспечивает питание рабочих полостей гидромотора «№ 3» (не показан), по каналам 86, 87, трубопроводами 84, 85. При исходном положении подвижной распределительной втулки 25 рабочая полость гидромотора «№ 3» (не показан), подключенная трубопроводом 84 к каналу 86 является сливной, а рабочая полость гидромотора «№ 3» (не показан), подключенная трубопроводом 85 к каналу 87 – напорной. Рабочая жидкость из рабочей полости гидромотора «№ 3» (не показан) по трубопроводу 84, каналу 86 поступает в полости сегментных пазов 38, 37, 35. Из полости сегментного паза 35 рабочая жидкость через продольные каналы 45, 61, 59 поступает в полости кольцевых канавок 57, 48, полость 66, и по каналу 75 – во всасывающую полость 19 шестеренной насосной секцией 1. Рабочая жидкость во впадинах внутренней шестерни 5, охватывающей шестерни 7 поступает в напорную полость 20, и по каналам 76, 77, трубопроводу 78, каналу 79 в полости кольцевых канавок 49, 58, продольных каналов 60, 62, 61. Из полостей продольных каналов 62, 63 рабочая жидкость через продольные каналы 46, 47 поступает в полости сегментных пазов 36, 39, 34. Из полости сегментного паза 36 рабочая жидкость по каналу 87, трубопроводу 85 поступает в рабочую полость гидромотора «№ 3» (не показан).

В данном положении подвижной распределительной втулки 25 обеспечивается максимальный третий эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 3» (не показан) по каналу 87, трубопроводу 85.

При повороте подвижной распределительной втулки 25 посредством червячной передачи на угол 90° , половина продольных каналов 45 переместятся в зону сегментного паза 34, а половина продольных каналов 45 останется в зоне сегментного паза 35. Также, половина продольных каналов 46, 47 переместятся в зоны сегментных пазов 37, 38, а половина продольных каналов 46, 47 останется в зоне сегментных пазов 36, 39.

При данном положении подвижной распределительной втулки 25 всасывание рабочей жидкости осуществляется периодически из рабочих полостей гидромотора «№ 3» (не показан), периодически подключенных трубопроводами 84, 85 к каналам 86, 87, а нагнетание рабочей жидкости осуществляется периодически в рабочие полости гидромотора «№ 3» (не показан), подключенные трубопроводами 85, 84 к каналам 87, 86. Обеспечивается ми-

нимальный (нулевой) третий эквивалентный объем шестеренной насосной секции 1 и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в рабочие полости гидромотора «№ 3» (не показан).

При повороте подвижной распределительной втулки 25 посредством червячной передачи на угол 180° продольные каналы 45 переместятся в зону сегментного паза 34, а продольные каналы 46, 47 переместятся в зоны сегментных пазов 37, 38. При данном положении подвижной распределительной втулки 25 рабочая полость гидромотора «№ 3» (не показан) подключенная трубопроводом 85 к каналу 87 является сливной, а рабочая полость гидромотора «№ 3» (не показан) подключенная трубопроводом 84 к каналу 86 – напорной.

В данном положении подвижной распределительной втулки 25 обеспечивается максимальный третий эквивалентный объем шестеренной насосной секции 1 и максимальная подача рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 3» (не показан) по каналу 86, трубопроводу 84. Поток рабочей жидкости реверсирован.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 25 в диапазоне изменения угла поворота от 0° до 180° посредством червячной передачи добиваемся плавного изменения третьего эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в рабочую полость гидромотора «№ 3» (не показан) в диапазоне от нулевого до максимального значений и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Трехпоточный шестеренный насос может быть использован при создании приводов ходового оборудования гусеничной транспортно-тяговой роботизированной системы с бортовым поворотом.

Предлагаемые подходы к созданию трехпоточных шестеренных насосов, обеспечивающих один постоянный и два переменных эквивалентных объема позволяют реализацию модульного принципа построения, состоящего в данном случае в том, что насос шестеренный постоянного объема 1 и распределительных модулей 2, 3 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 с гидрораспределительными модулями. Данное направление создания многопоточных 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 [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. Гидродифференциальная передача : полезная модель 12454 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай ; дата публ.: 2020.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 6.

6. 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.

7. Котлобай, А. Я. Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин / А. Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2018. – № 4 (81). – С. 12–18.

8. Насос шестеренный : полезная модель 12773 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай ; дата публ.: 2021.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2021. – № 6.

9. Насос шестеренный : полезная модель 12953 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. А. Почебыт, Д. Н. Миронов, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай ; дата публ.: 2022.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2022. – № 4.

10. Насос шестеренный : полезная модель 13116 Респ. Беларусь : МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай ; дата публ.: 2023.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2023. – № 1.