

Сравнительный анализ технического уровня объемных насосов, основанных на различных принципах работы

В данной статье приведены результаты сравнительного анализа технического уровня шестеренного насоса относительно объемных насосов, основанных на других принципах работы. **объемный насос, развиваемое давление, объемная подача, механический КПД, общий КПД насоса, частота вращения, надежность, безотказность, долговечность, стоимость изготовления, стоимость эксплуатации, универсальность, реверсивность, регулирование объемной подачи, рекуперация энергии**

Объемный гидропривод, нашел широкое распространение в самых разнообразных областях техники. Сейчас гидроприводы успешно используют на транспортных, горных, строительных, дорожных, путевых, мелиоративных и сельскохозяйственных машинах, на судах, летательных и подводных аппаратах, в станках, на подъемно-транспортном оборудовании, на автоматических линиях машиностроительных, металлургических, химических и др. предприятиях. Столь широкое распространение гидропривода объясняется рядом его существенных преимуществ в сравнении с другими типами приводов такими, как механический, пневматический и электропривод. Эти преимущества заключаются в высоких удельных параметрах, малой чувствительностью к работе в тяжелых условиях, высоких усилиях, которые обеспечивает гидропривод, легкой автоматизации производственных процессов, что и обусловило его самое широкое распространение и стало символом высокого технического уровня техники.

Одним из основных элементов гидросистемы объемного типа, является насос, основанный на гидростатическом принципе действия. К таким насосам следует отнести поршневые (аксиальные и радиальные), пластинчатые, шестеренные и винтовые.

В настоящее время наиболее широкое распространение нашел аксиально-поршневой тип насоса, что связано с тем, что разработчикам удалось создать такую конструкцию насоса, которая обеспечивает сравнительно высокое давление и возможность регулирования объемной подачи. Однако этому насосу присущи и ряд недостатков [1, 2]. При этом, незаслуженно отодвинут на второй план шестеренный насос.

Целью статьи является определение технического уровня шестеренного насоса в сравнении с насосами, основанными на других принципах работы.

Для проведения сравнительного анализа технического уровня объемных насосов известных конструктивных схем необходимо разработать критерии сравнения. И хотя задача на первый взгляд кажется несложной, на самом деле из-за отсутствия достоверной информации о многих технико-экономических показателях и конкурирующего характера многих из них задача значительно усложняется.

К таким критериям оценки технического уровня насосов следует отнести их основные технические характеристики:

1. Развиваемое насосом давление.

2. Объемная подача насоса, которая определяется объемом рабочей камеры насоса и максимальной частотой вращения привода насоса.

3. Коэффициент полезного действия, который определяется коэффициентом подачи, гидравлическим и механическим КПД насоса.

4. Надежность насоса, которая, как правило, повышается при упрощении конструкции машины: уменьшении количества деталей и уменьшении количества движущихся деталей и связей между ними, при повышении технологического уровня их изготовления и сборки насоса, при использовании в производстве высококачественных материалов, что влечет за собой увеличение стоимости насоса. К основным показателям надежности следует отнести безотказность и долговечность.

5. Стоимость изготовления насоса, которая вступает в противоречие с качеством производства насоса, его функциональными возможностями и надежностью.

6. Стоимость эксплуатации, которая включает:

- стоимость затраченной энергии при работе насоса, которая при сравнительном анализе определяется общим КПД насоса, а также конструктивной возможностью регулирования насоса, что принципиально определяет КПД гидросистемы в целом;

- стоимость затрат на поддержание насоса в исправном состоянии, которая при сравнительном анализе определяется надежностью насоса;

- стоимость используемой рабочей жидкости и затраты на ее очистку и замену вследствие ее старения, при этом известно, что при повышении чистоты рабочей жидкости на один класс затраты на ее очистку возрастают вдвое [3];

- стоимость утилизации насоса в конце его жизненного цикла.

7. Универсальность насоса:

- возможность использования во всех областях техники, в частности в неблагоприятных условиях благодаря своим конструктивным особенностям или преимуществу принципа действия;

- возможность регулирования и реверсирования, что дает возможность обеспечить рекуперацию энергии.

Как, отмечено выше, учесть все перечисленные показатели вряд ли удастся, в частности из-за отсутствия необходимых данных, которые или не приводятся, в частности показатели надежности или вообще отсутствуют или требуют проведения специальных исследований на каждый тип машин, при том, в одинаковых условиях.

При разработке комплексного показателя технического уровня необходимо преодолеть ряд противоречий таких, какие появляются при повышении надежности насоса. Помимо повышения стоимости производства насоса, что снижает уровень его продаж, возникает противоречие между потребителем и производителем: потребитель стремится приобрести технику более надежную, а производителю более выгодно производить более дешевую технику.

Кроме того, экономический эффект может появиться не на уровне насоса (уровень системы), а на уровне гидропривода или гидросистемы (уровень надсистемы), например при использовании насосов с регулируемой подачей и возможности реверсирования дает возможность обеспечить рекуперацию энергии.

Из вышеизложенного следует, что неправильно делать вывод о преимуществах одной конструкции машины перед другой только по их стоимости, без учета эксплуатационных расходов всей гидросистемы в целом. Может оказаться экономически целесообразным применение более дорогого, но более надежного насоса, рассчитанного на более длительный срок службы и тем самым снизить расходы на его техническое обслуживание и ремонт. Или более выгодным может оказаться использование насоса, который работает при более высоком давлении и, потому что в этом случае можно получить новое качество гидросистемы, но в этом случае, как

правило, снижается его надежность. Или использование регулируемого насоса, который существенно в 1,5...3 раза позволяет повысить КПД гидропривода, но, как правило, и в этом случае снижается надежность и существенно повышается стоимость насоса.

При прочих равных условиях машина будет тем надежнее, чем проще ее конструкция и чем меньше узлов и деталей она имеет. В этом отношении пластинчатые, а особенно шестеренные гидромашины выгодно отличаются от других типов насосов.

Поршневые насосы в настоящее время занимают ведущее положение среди объемных насосов. Сравним хотя бы развиваемое поршневыми насосами давление [4]. В настоящее время достигнуты следующие значения допускаемых предельных ("пиковых") значений давлений:

- в аксиально-поршневых насосах и гидромоторах - до 48 МПа;
- в пластинчатых насосах - до 21 МПа;
- в героторных гидромоторах - до 30 МПа;
- в шестеренных насосах и гидромоторах - до 32 МПа;
- в радиально-поршневых гидромоторах - до 45 МПа;
- в радиально-поршневых насосах - до 70 МПа.

Но, не смотря, на казалось бы, превалирующее положение поршневых насосов им присущи ряд недостатков: существенно большая стоимость, высокая чувствительность к загрязнению рабочей жидкости, неудовлетворительный коэффициент подачи при малых значениях объемной подачи [1, 2] наличие возвратно-поступательного движения и др., которые сдерживают их распространение и освобождают нишу для объемных машин, основанных на др. принципах работы и не обладающих упомянутыми недостатками.

Ниже приведено сравнение технических характеристик насосов различных типов по основным техническим характеристикам.

Максимальное давление на всех диапазонах рабочего объема развивают поршневые насосы. При этом как видим из рис. 1 с повышением рабочего объема насоса его рабочее давление падает. При этом для шестеренных насосов рабочее давление не зависит от его объема и для насосов большого объема он практически достигают уровня поршневых [5].

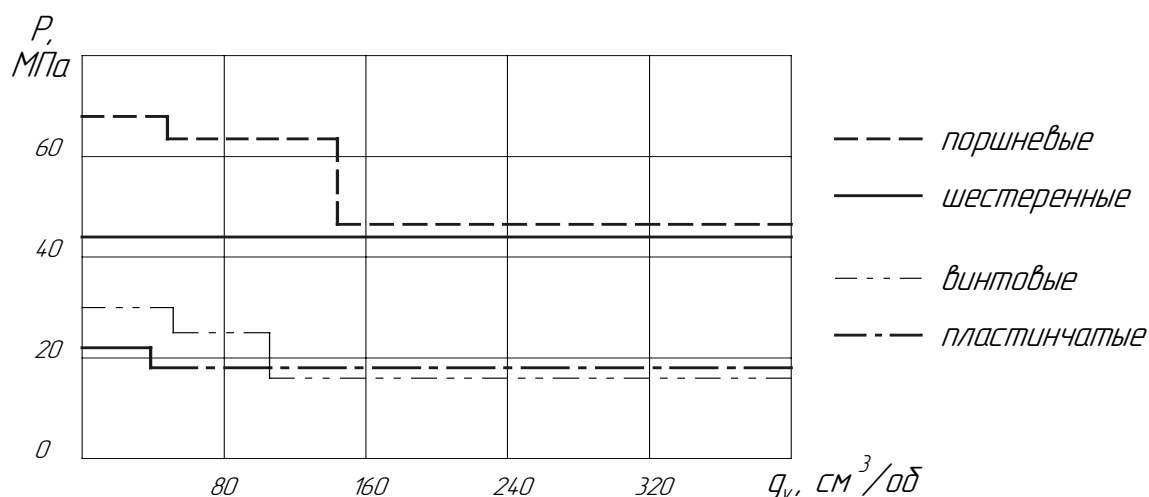


Рисунок 1 – Зависимость рабочего давления, развиваемого насосом от рабочего объема

Сравнительная характеристика максимально допустимой угловой скорости насоса представлена на рис. 2. Анализируя зависимости, представленные на рис. 2

видим, что в диапазоне рабочих объемов до 80 см³ шестеренные насосы - вне конкуренции. При увеличении рабочих объемов насосы по максимально допустимой частоте вращения распределяются в следующей последовательности: винтовые, шестеренные, пластинчатые и поршневые насосы [5].

Следует отметить тенденцию к увеличению быстроходности шестеренных насосов так, частота вращения некоторых образцов достигает до 100 с⁻¹.

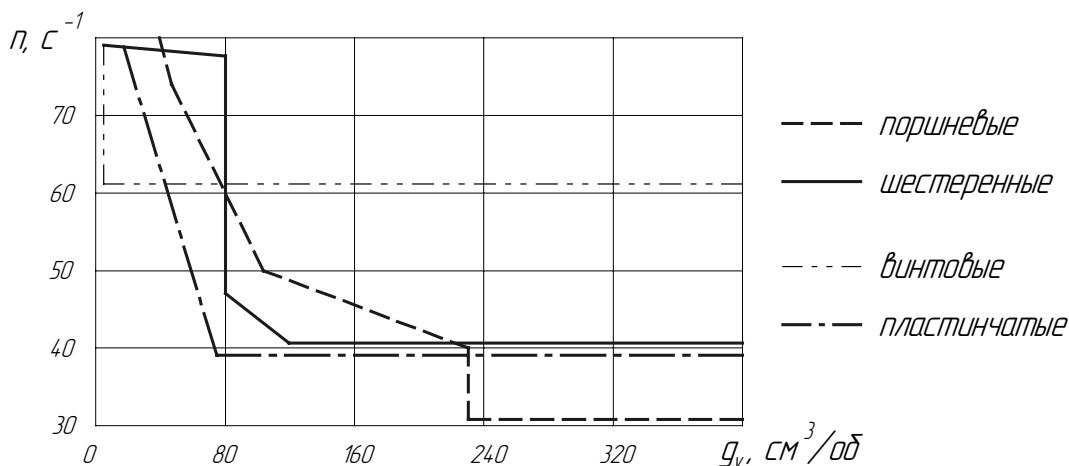


Рисунок 2 – Зависимость частоты вращения от рабочего объема насоса

Зависимость коэффициента подачи (КП) от давления нагнетания можно считать одним из самых существенных показателей качества насоса, определяющих его технический уровень. Из рис. 3 видим, что технический уровень шестеренных насосов, практически не уступает поршневым, в то время как КП пластинчатых и винтовых насосов уже при давлении 18 МПа ниже 80 %. Кроме того, скорость падения КП этих насосов намного превосходит этот показатель для шестеренных насосов.

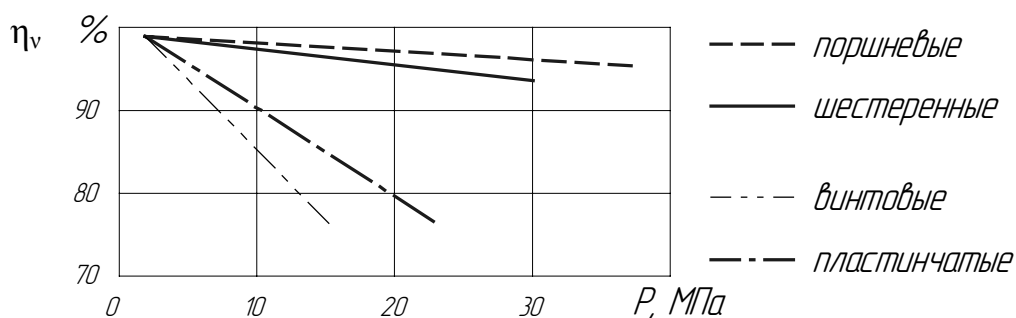


Рисунок 3 - Зависимость КП от давления нагнетания насоса

Не менее важной характеристикой является зависимость КП насоса от частоты вращения. Как видим из рис. 4 зависимость КП от частоты вращения шестеренных насосов значительно опережает пластинчатые и винтовые и мало в чем уступает поршневым насосам. Кроме того, скорость роста этого показателя для шестеренных насосов выше, чем у поршневых [5].

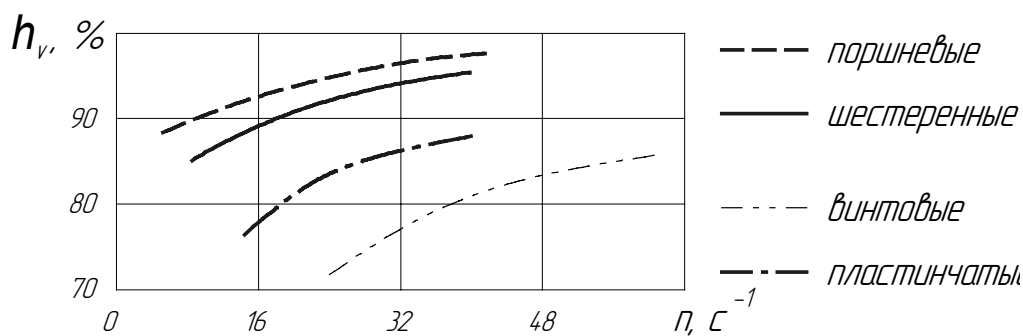


Рисунок 4 – Зависимость КП насоса от его частоты вращения

В этом же ряду по важности является зависимость общего КПД насоса от развиваемого насосом давления. Как видим из рис. 5 общий КПД шестеренного насоса до давления 10,0 МПа превосходят все остальные насосы. С ростом давления выше этой точки вперед выходят поршневые насосы, однако их преимущество нельзя назвать существенным. Обращает на себя внимание тот факт, что винтовые и пластинчатые насосы при подходе к отметке 20 МПа практически становятся неработоспособными (общий КПД ниже 70 % и большая скорость его снижения с ростом давления), в то время как шестеренные насосы имеют КПД на уровне 88 % при вполне удовлетворительной скорости снижения КПД.

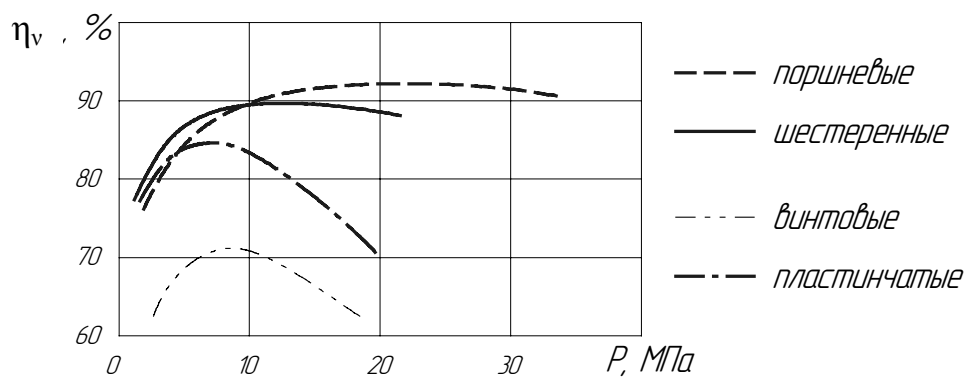


Рисунок 5 - Зависимость общего КПД насоса от развиваемого насосом давления

Всасывающая способность насосов определяется его герметичностью и во многом определяет КП насоса. Лучшей всасывающей способностью обладают поршневые насосы и далее шестеренчатые, пластинчатые и винтовые насосы [5].

Важными показателями, характеризующими общий технический уровень ТС, являются его удельные характеристики. Одним из таких показателей является удельная мощность – т.е. мощность, приходящаяся на единицу массы насоса. По этому показателю объемные насосы, пожалуй, лидеры среди всех известных энергетических машин, а среди них - шестеренные насосы, у которых этот показатель достигает более 8 кВт на 1 кг массы (масса насоса НШ 32 М-4 составляет всего 4 кг при номинальной мощности 33,3 кВт [6]). Это свидетельствует о том, что физические принципы, заложенные в основу конструкции шестеренного насоса, являются предпочтительными по сравнению с другими типами насосов. Подтверждением этому является выход на передовые позиции по удельным показателям и по КПД, которые являются одними из важнейших показателей, определяющих его технический уровень.

Уровень звукового давления зависит от пульсации давления, от совершенства механической части насосов. Убывание шумности насосов лежит в следующем порядке: поршневые, шестеренные, пластинчатые и винтовые [5].

Затраты на производство. Помимо технических характеристик важным показателем является такой показатель, как затраты на производство, т.е. какими затратами достигнут тот или иной технический уровень насоса. Объективной оценкой уровня совершенства конструкций насосов является затраты производства на единицу передаваемой мощности. Данные на каждую конструкцию сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Средняя удельная стоимость насоса в расчете на единицу передаваемой мощности [5]

Конструкция насоса	Затраты производства на 1 кВт передаваемой мощности, руб.
Шестеренные	2...6
Поршневые	2...6
Пластинчатые	3...25
Винтовые	5...40

О стоимости разных типов гидромашин можно судить также по покупной цене насосов, имеющих одинаковую подачу. Эти данные свидетельствуют о том, что благодаря простоте конструкции относительная стоимость шестеренного насоса значительно уступает стоимости насосов других типов: шестеренные – 1, регулируемые аксиально-поршневые – 23,3, нерегулируемые аксиально-поршневые – 14,4 [8]; пластинчатые – 4,9, пластинчатые регулируемые – 30,0 [9]; нерегулируемые радиально-поршневые – 74,0, регулируемые радиально-поршневые 94,0 [10].

Следует также отметить, что не последнее место занимают габаритные размеры насосов, что в определенных условиях ограниченного пространства становится основным параметром применимости гидромашин, например, в авиационной и горной технике. Важнейшей характеристикой является способность насоса работать в тяжелых условиях запыленности, повышенной температуры. Вот поэтому в авиационной и горной технике на дорожно-строительных и сельскохозяйственных машинах шестеренные насосы нашли самое широкое распространение.

Сравнивая между собой пластинчатые и шестеренные гидромашин, стоит подчеркнуть, что пластинчатые насосы обладают большей поверхностью скольжения, по которым должна обеспечиваться герметизация. Это сказывается в том, что в условиях эксплуатации гидроприводов, когда окружающий воздух запылен и загрязнен микрочастицами песка и глинозема, абразивный износ контактирующих поверхностей у пластинчатых машин происходит интенсивнее, чем у шестеренных. Соответственно в процессе эксплуатации падения КПД у пластинчатых гидромашин оказывается заметнее, чем у шестеренных. Не случайно, что в гидросистемах лесных, сельскохозяйственных и дорожно-строительных и горных машин преимущество чаще отдается шестеренным гидромашинам [7].

Результаты сравнения гидромашин чаще всего носят субъективный характер вследствие многочисленности их параметров, многие из которых не представляют интереса для потребителей, а часть параметров известна не для всех сравниваемых гидромашин. Имеет значение также неодинаковость местных условий и задач испытаний гидромашин, проводимых независимо друг от друга.

Опираясь на рассуждения, приведенные выше, была предложена следующая зависимость для оценки совершенства насоса объемного типа без учета его принципа действия:

$$C = \frac{P \cdot q \cdot n \cdot \eta_v \cdot \eta_{\text{мех}}}{m}, \quad (1)$$

где P – давление, развиваемое насосом, Па;
 q – ОРК насоса, м³/об;
 n – частота вращения насоса, об/с;
 η_v – коэффициент подачи насоса;
 $\eta_{\text{мех}}$ – механический КПД насоса;
 m – масса насоса, кг.

Вычисления по формуле (1) позволяют определить удельную мощность, развиваемую насосом в зависимости от его технических параметров, которая определяет технический уровень насоса.

Исходные данные для расчета показателя C регулируемых аксиально-поршневых насосов НАР, НАС, НА4М и НАД, регулируемых пластинчатых насосов Г12–5М и регулируемых радиально-поршневых насосов взяты из [8, 9, 10, 11]. Технические параметры шестеренных насосов были взяты из ГСТУ [6].

Анализ результатов расчетов по формуле (1) показывают, что шестеренный насос по удельной мощности, практически на порядок превосходит остальные типы насосов. Такую существенную разницу можно объяснить тем, что корпус и крышка шестеренного насоса изготавливается из легких алюминиевых сплавов. Однако, увеличив массу шестеренного насоса в 3 раза (соотношение плотности железа к алюминию, как раз и составляет 3:1) мы получим результаты, приведенные в табл. 2. Из табл. 2 видим, что, не взирая, на увеличение массы шестеренного насоса в 3 раза его удельные показатели, как минимум в 3,6 раз превосходят соответствующие показатели конструкций насосов, основанных на других принципах работы. Даже увеличив массу шестеренных насосов еще в 2 раза, ведь сравнение в таблице 2 идет с регулируемыми насосами, получим, что удельные показатели шестеренного насоса почти в 2 раза превосходят другие типы насосов.

Таблица 2 – Результаты определения удельной мощности насосов, конструкция которых основана на разных принципах работы при коррекции массы шестеренного насоса

P , МПа	Q , м ³ /с	q , см ³ /об	N , с ⁻¹	η_v	$\eta_{\text{мех}}$	m , кг	C , кВт/кг
Насос пластинчатый регулируемый Г12-54АМ							
6,3	$9,6 \cdot 10^{-4}$	38,4	25	0,85	0,856	30	0,336
Насос аксиально-поршневой регулируемый НАР 40/200							
20	$9,41 \cdot 10^{-4}$	40	25	0,93	0,935	62	0,659
Насос радиально-поршневой регулируемый НРР 125А/200							
20	$16,6 \cdot 10^{-4}$	125	16	0,85	0,9	726	0,055
Насос шестеренный нерегулируемый НШ -32							
14	$9,63 \cdot 10^{-4}$	32	32	0,92	0,897	15	2,37

Помимо этого, к важнейшим конструктивным преимуществам шестеренного насоса следует отнести:

- чрезвычайную простоту конструкции, количество различных деталей, как правило, не более десяти;
- минимальное количество движущихся деталей, всего две детали – ведущая и ведомая шестерни;
- отсутствие возвратно-поступательного движения, которое, как правило, сопряжено с действием сил инерции;

- простота и низкая себестоимость изготовления;
- неприхотливость в эксплуатации ;
- высокая надежность;
- высокие удельные технические характеристики.

Шестеренным насосам присуща также самая низкая чувствительность к загрязнению рабочей жидкости [12], что порой является одним из основных факторах выбора типа насоса. Так, в условиях высокой запыленности окружающей среды, чаще всего используются шестеренные насосы: сельскохозяйственное производство, добывающая промышленность, в частности шахты по добыче угля, карьеры и т.д.

А поэтому, из вышеизложенного следует, что те физические принципы, которые заложены в основу конструкции этого насоса, являются предпочтительными по сравнению с другими типами насосов. Подтверждением этому является выход на передовые позиции по удельным показателям и КПД.

Известно, что КПД гидропривода с объемным регулированием в 1,5...2,5 раза превосходят КПД гидропривода с дроссельным регулированием. Помимо этого, регулируемый гидропривод имеет ряд преимуществ:

- меньшую массу и габариты гидропривода по сравнению с массой и габаритами нерегулируемого;
- бесступенчатое регулирование скорости рабочих движений, что позволяет повысить коэффициент использования приводного двигателя, упростить автоматизацию привода и улучшить условия работы рабочего, повысить качество и эффективность выполнения технологических процессов;
- удобство управления, что сокращает расходы энергии рабочего независимо от мощности привода;
- существенное сохранение энергии по сравнению с нерегулируемым гидроприводом;
- уменьшение скорости старения рабочей жидкости;
- возможность осуществления простым способом больших передаточных отношений между ведущими и ведомыми звеньями при вращательном движении ведомого звена. При использовании в качестве ведомого звена высокомоментного гидромотора величина передаточного отношения может достигать 500 и больше;
- возможность превращения без дополнительных устройств вращательного движения ведущей звена в поступательное движение ведомого звена. Используя в качестве ведомого звена гидроцилиндр, можно превратить вращательное движение ведущего звена (насос) в обратное-поступательное движение ведомого звена (поршень гидроцилиндра). Подбором соответствующего диаметра гидроцилиндра и давления рабочей жидкости можно создавать практически любое усилие на ведомом звене.
- надежное предотвращение от перегрузок приводного двигателя, металлоконструкций и рабочих органов гидропривода, что достигается предохранительными приспособлениями.

Перечисленные преимущества приводов объемного регулирования перед нерегулируемым приводом и приводом дроссельного регулирования оказываются тем больше, чем больше мощность привода.

Таким образом, из вышеизложенного, следует, что шестеренные насосы обладают рядом уникальных технических качеств, которые могут способствовать его более широкому использованию в гидросистемах самых разнообразных машин.

Одним из наиболее существенных недостатков, присущих шестеренным насосам является отсутствие работоспособной надежной конструкции шестеренного насоса с регулируемой подачей и в случае создания регулируемого шестеренного насоса он практически по всем удельным показателям будет вне конкуренции.

Нами предложена конструктивная схема регулируемого шестеренного насоса, основанная на эксцентриковом принципе регулирования объема рабочей камеры. Разработаны теоретические основы регулируемого шестеренного насоса. Получены положительные результаты при испытании первых опытных образцов таких насосов [13, 14].

Список литературы

1. Аксиально-поршневой гидропривод / В.Н. Прокофьев и др. – М.: Машиностроение. – 1969.– 256.
2. И.В. Николенко Тенденции развития и технический уровень аксиально-поршневых гидромашин с регулируемым рабочим объемом. Промислова гідравліка і пневматика 2004 № 1 (3), С. 49-54.
3. В.Н. Прокофьев, Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин и др. Машиностроительный гидропривод. М.: Машиностроение. – 1978. – 495 с.
4. Аврунин Г. А. Кабаненко И. В. Хавиль В. В. Анализ современного технического уровня гидрообъемных передач //Вибрации в технике и технологиях 2003, №4 (30).– С. 3-6.
5. Козерод Ю.В. Исследование влияния геометрических параметров зацепления на качественные показатели шестеренного насоса. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук., М. Московский институт инженеров железнодорожного транспорта., 1977. – 150 с.
6. Насоси шестеренні об'ємного гідроприводу. Технічні умови. ГСТУ 3-25-180-97. Мінпром політики України. М. Київ. – 1998. – 48 с.
7. Лебедев Н. И. Объемный гидропривод машин лесной промышленности: Учебное пособие для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.- 296 с.
8. ОАО «Гидросила» www.hydrosila.com.
9. ОАО «Гидропривод» www.gidroel.lipetsk.ru.
10. www.elec.ru.
11. В.К.Свешников, А.А Усов Станочные гидроприводы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1982.– 464 с.
12. Барышев В.И. Повышение технического уровня и надежности гидропривода тракторов и сельхозмашин в эксплуатации. Дисс. на соиск. ученой степени доктора. техн. наук. Челябинск, Государственный ордена Трудового Красного Знамени НИИ тракторный институт (НАТИ) (челябинский филиал), 1989. – 461с.
13. Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко Теоретическое определение подачи шестеренного насоса с регулируемой подачей. Промислова гідравліка і пневматика, № 2, 2005р. С. 23-28.
14. Ю.В. Кулешков, Т.В. Руденко Анализ существующих конструктивных решений шестеренных насосов с регулируемой подачей //Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/ КДТУ, 2005, вип. 35.– С. 127 – 135.

В даній статті наведено результати порівняльного аналізу технічного рівня шестеренного насоса відносно об'ємних насосів, заснованих на інших принципах роботи.

In this article the results of comparative analysis of technical level of cog-wheel pump are resulted in relation to the by volumes pumps based on other principles of work.