

АКТИВНЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ С ГИДРОИМПУЛЬСНЫМ ПРИВОДОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ВИБРАЦИОННОГО И УДАРНО-ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

**Сторожук Сергей Болеславович – аспирант,
Кутняк Николай Николаевич – аспирант,
Коц Иван Васильевич – к.т.н., профессор,**

Винницкий национальный
технический университет,
г. Винница, Украина

В технологических процессах строительной-дорожной и горнодобывающей промышленности, которые связаны с уплотнением грунта и бетона, смешиванием, транспортированием, дроблением и разделением твердых, сыпучих и жидких материалов широко используются вибрационные и ударно-вибрационные машины. Операции задействованные в этих технологических процессах являются наиболее масштабными, энергоемкими и дорогостоящими. Использование вибрационных и ударно-вибрационных машин с активными рабочими органами обеспечивает более высокую, чем у обычных машин, технологическую эффективность и имеет важное экономическое значение [1].

Привод и активные рабочие органы являются основными конструктивными элементами известных вибрационных и ударно-вибрационных машин. Наибольшее распространение в строительной-дорожной и горной промышленности получили дебалансные, эксцентриковые, пневматические и гидравлические вибраторы. Альтернатива перечисленным механизмам – новый тип гидравлического привода, характеризуемый наличием аккумуляторов в приводе и элемента их разрядки (управляемого по давлению) на перемещение рабочего органа, который условно называется «гидроимпульсным» [2, 3]. В отличие от известного объемного гидропривода с насосно-аккумуляторной станцией, где энергия в отдельной дорогостоящей установке накапливается на весь рабочий цикл машины и передается технологической машине, в гидроимпульсном приводе строительных, горных и иных видов машин вибрационного и ударно-вибрационного действия используется одноходовой гидроаккумулятор, накапливающий энергию только на один рабочий ход машины, причем автоматически повторяющаяся передача этой энергии рабочему органу осуществляется специальным элементом управления – импульсным клапаном-пульсатором [2, 3]. Гидроимпульсный привод обладает свойствами объемного и динамического гидроприводов, т. е. передача потенциальной энергии жидкости в нем осуществляется вследствие изменения объемов его рабочих камер, взаимодействием струи жидкости с рабочим – органом машины или обоими факторами одновременно. Машины с гидроимпульсным приводом характеризуются повышенной энергоемкостью и значительным быстродействием, обязательным для многих технологических процессов, например, в строительной и горной промышленности. В Винницком национальном техническом университете проводятся исследования, которые направлены на изучение особенностей и обоснование возможностей применения нового типа гидравлического привода горных машин вибрационного и ударно-вибрационного действия, который характеризуется наличием гидроаккумулятора и элемента его разрядки, управляемого по давлению импульсным клапаном-пульсатором.

В зависимости от способа подключения и конструктивных особенностей импульсного клапана-пульсатора различают две основные принципиальные схемы гидроимпульсного привода (рис. 1) [3 – 6].

Принципиальная схема гидроимпульсного привода с трехходовым двухпозиционным импульсным клапаном-пульсатором 2 (рис. 1, а), которая может применяться в вибрационных конвейерах, гидромолотах, гидроперфораторах, устройствах для уплотнения грунтов и других машинах с повышенной энергией импульса, быстроходностью и более высокими требованиями к КПД [3 – 6]. Реализация этой схемы показана на примере вибрационного транспортирующего устройства [3, 5]. Она включает приводной гидронасос 1, одноходовой гидроаккумулятор 2, импульсный клапан-пульсатор 3, исполнительный рабочий орган – плунжерный гидроцилиндр 4, упругий элемент возврата – пружинные рессоры 5 и предохранительный клапан 6. Особенность работы гидропривода заключается в том, что в одноходовом гидроаккумуляторе 2 накапливается энергия сжатой рабочей жидкости, достаточная на совершение одного возвратно-поступательного хода рабочего органа 4. В зависимости от расчетной величины энергии необходимой для совершения одного хода плунжера рабочего органа 4 заряжается одноходовой гидроаккумулятор 2 от напорной магистрали 1 до некоторого заданного давления p_1 , при котором импульсный клапан-пульсатор 3 открывается и обеспечивает рабочий ход – перемещение плунжера рабочего органа 1 в результате действия струи рабочей жидкости

поступающей от гидроаккумулятора 2. По мере разрядки гидроаккумулятора 2 давление в системе падает до некоторого значения p_2 , при котором импульсный клапан-пульсатор 3 закрывается, а полость гидроцилиндра соединяется со сливом, после чего под действием пружин 3 плунжер 4 возвращается в исходное положение. Предложенная конструкция машины может предусматривать совершение полезной работы как в начале, так и в конце обратного хода (например, виброгрохоты, гидромолоты, трамбовки, вибромельницы и другие ударно-вибрационные машины).

На рис. 1, б представлена принципиальная схема гидроимпульсного привода навесного молота для дробления негабаритов скальных пород [3, 4], которая содержит более простой двухходовой импульсный клапан-пульсатор 2, установленный в сливной линии из полостей подъемных плунжерных гидроцилиндров 3 и 4. Рабочая жидкость по напорному трубопроводу подается в полости гидроцилиндров и перемещает рабочий орган – ударную массу 5 вверх. При давлении p_1 импульсный клапан-пульсатор 2 соединяет напорную магистраль 1 со сливом. Возврат – падение рабочего органа ударной массы 5 в исходное положение при открытом сливе в импульсном клапане-пульсаторе 2 совершается под действием пружины 6 или веса ударной части 5. Давление в гидросистеме падает, прекращается истечение рабочей жидкости в сливном трубопроводе, и импульсный клапан-пульсатор 2 закрывается.

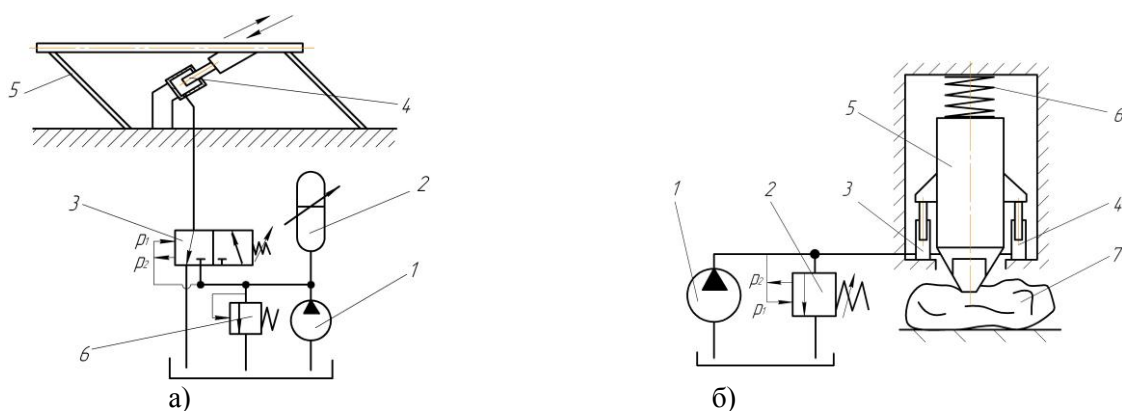


Рис. 1. Принципиальные схемы гидроимпульсных приводов машин с трех- (а) и двухходовым (б) импульсными клапанами-пульсаторами.

Роль аккумулятора потенциальной энергии выполняет пружина 6 (рис. 1, б) или высота положения ударной массы 5. Конструкции машин с гидроимпульсным приводом, которые выполнены по схеме, представленной на рис.1,б, могут успешно использоваться, например, в устройствах для разрушения массива мерзлых грунтов и скальных пород, для уплотнения грунтов и других технологических операций [3,4].

Наиболее наглядно иллюстрируют работу элементов разрядки простейшие импульсные клапаны-пульсаторы. На рис. 2 представлены конструктивные схемы двух- и трехходовых двухпозиционных импульсных клапанов-пульсаторов [3 – 6]. При достижении в системе давления p_1 (рис. 2, а),

определяющего усилие затяжки пружины 2 $P_{np} = p_1 \frac{\pi d_1^2}{4}$ (здесь p_1 – максимальное давление настройки срабатывания импульсного клапана-пульсатора, d_1 – эффективный расчетный диаметр герметизации первой ступени клапана), двухступенчатый клапан 1 сместится вверх и на него будет действовать сила $P_2 \gg P_1$ ($P_2 = p_1 \frac{\pi d_2^2}{4}$, где d_2 – диаметр поперечного сечения второй ступени клапана). Сила, которая действует на всю площадь поперечного сечения двухступенчатого клапана 2, увеличится от P_{np} до P_2 импульсно и переместит его вверх на величину, большую величины размера перекрытия золотника Δ . В результате этого напорная магистраль 3 и трубопровод 7, связанный с полостью рабочего гидроцилиндра, соединятся со сливом 8. Давление в гидросистеме будет падать со скоростью, определяемой условным проходным сечением запорного органа импульсного клапана-пульсатора. При достижении величины давления рабочей жидкости p_2 наступает равновесие

$p_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = p_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$, когда любое уменьшение давления ниже p_2 (обычно определяется потерями в сливной магистрали при обратном ходе рабочего органа) вызовет посадку двухступенчатого клапана 1 на седло под действием усилия затяжки пружины 2.

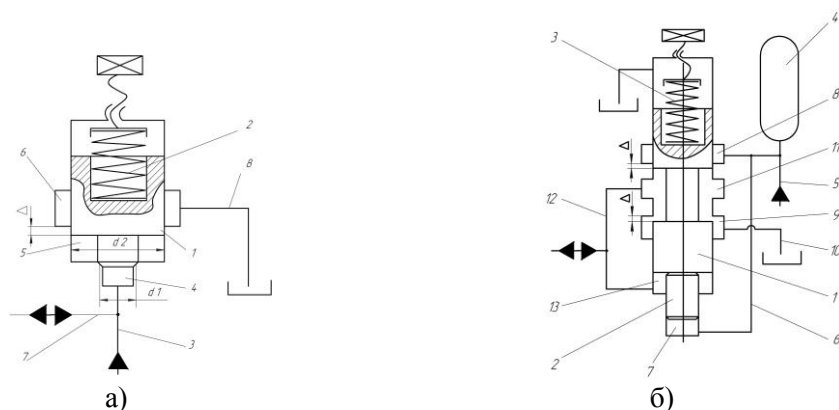


Рис. 2. Конструктивные схемы двух- (а) и трехходового (б) импульсных клапанов-пульсаторов

Трехходовой двухпозиционный импульсный клапан-пульсатор [3] (рис. 2, б) аналогичен по принципу действия двухходовому. При зарядке гидроаккумулятора 4 толкатель 2 перемещает золотник 1 до тех пор, пока не перекроется расточка 9, а расточка 11 не соединится с выточкой 8. Одновременно полость 7 соединится с 8, что приведет к быстрому переключению золотника в положение разрядки гидроаккумулятора 4 на рабочий гидроцилиндр через расточку 11, которая связана непосредственно с полостью исполнительного гидроцилиндра машины вибрационного и ударно-вибрационного действия.

Аккумуляция энергии в гидроимпульсном приводе осуществляется как в пружинных, так и в чисто гидравлических аккумуляторах. Принцип действия пружинных аккумуляторов известен [2, 3]. Чисто гидравлические аккумуляторы применяются редко, и их работа требует некоторого пояснения, так как основывается на сжимаемости жидкости. Энергия, накопленная за счет сжатия жидкости, определяется по известной зависимости [3]:

$$A = \frac{1}{2}(p_1^2 - p_2^2)W_n \beta, \quad (1)$$

где p_1 – наибольшее давление в гидроаккумуляторе, соответствующее давлению открытия импульсного клапана-пульсатора; p_2 – давление закрытия импульсного клапана-пульсатора; W_n – первоначальный объем полости гидроаккумулятора; β – коэффициент сжимаемости жидкости (при расчетах принимается $\beta = const$ для давлений рабочей жидкости свыше 3 МПа).

Мгновенная мощность гидроимпульсного привода определяется временем совершения одного рабочего хода t_{px} , а его минимальное значение зависит от быстродействия импульсного клапана-пульсатора $t_{кн}$ ($t_{кн} \leq t_{px}$). Величина средней мгновенной мощности за один импульс $N_{умн}$ и время рабочего хода с достаточной степенью точности для проектных расчетов определяются по зависимостям:

$$N_{умн} = p_1^2 W_n \beta / 2 t_{px}; \quad (2)$$

$$t_{px} = \sqrt{\frac{2mL_{px}}{(\frac{p_1 - p_2}{2})S_{сеч}}}, \quad (3)$$

где m – масса подвижного рабочего органа машины; L_{px} – рабочий ход; $p_{cp} = \frac{p_1 - p_2}{2}$ – среднее давление рабочей жидкости за время цикла (принимается его среднеарифметическое значение), $S_{сеч}$ – эффективная рабочая площадь поршней или плунжеров [3].

Предельная частота работы таких приводов (соответствует числу двойных ходов рабочего органа

машины), например, для чисто гидравлического аккумулярования,

$$n = \frac{1}{t_{ум}} = \frac{1}{2A_{px} / Q_n p_{сред} + t_{кл}} \approx \frac{0,9Q_n p_1}{2A_{px}}, \quad (4)$$

где 0,9 – коэффициент, учитывающий время срабатывания импульсного клапана-пульсатора [3];

$Q_n = const$ – подача насоса; A_{px} – заданная энергия одного рабочего хода.

Эксперименты, проведенные на ряде рассмотренных машин с гидроимпульсным приводом подтверждают достаточную точность в пределах $\pm(6-10\%)$ зависимости (4).

О существенных технических возможностях гидроимпульсного привода, даже для незначительных объемов жидкости W_n и при сравнительно небольших давлениях рабочей жидкости p_1 можно судить, рассмотрев следующий пример. Пусть, в гидроприводе используются шестеренный гидронасос типа НШ-10, подача которого составляет $Q_n = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$, создающий давление $p_1 = 16 \text{ МПа}$, гидросистема имеет чисто гидравлический аккумулятор с объемом полости $W_n = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и коэффициентом сжимаемости рабочей жидкости $\beta = 1/16 \cdot 10^8 \text{ м}^2 / \text{Н}$. Накопленная энергия в таком гидроприводе передается на рабочий орган, как показали проводимые экспериментальные исследования, за $t_{px} = 10^{-2} \text{ с}$. Следовательно,

$$N_{ум} = p_1^2 W_n \beta / 2 t_{px} = \frac{(16 \cdot 10^6)^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 16 \cdot 10^8} = 20 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 20 \text{ кВт}.$$

Мощность привода насосной станции без учета потерь составляет:

$$N_{прив} = p_1 Q_n = 16 \cdot 10^6 \cdot 0,24 \cdot 10^{-3} = 3,84 \text{ кВт}.$$

Экспериментальные исследования и производственный опыт эксплуатации гидроимпульсных приводов вибрационных и ударно-вибрационных технологических машин, управление которыми осуществлялось в соответствии с рассмотренными схемами, представленными на рис. 1 и 2, показали их высокую эффективность в качестве привода активных рабочих органов вибрационных транспортирующих устройств, грохотов, мельниц, гидрореперфораторов, навесных гидромолотов для дробления негабаритов горных пород, прицепных рыхлителей мерзлого грунта, экскаваторных ковшей активного действия, устройств для уплотнения грунта и бетона.

Выводы.

Таким образом, для быстродействующих технологических машин вибрационного и ударно-вибрационного действия, потребляющих значительную мгновенную мощность, достаточно эффективен и прост в эксплуатации и изготовлении импульсный гидропривод с одноходовым гидроаккумулятором или пружинным механическим аккумулятором и импульсным клапаном-пульсатором, который имеет дистанционное бесступенчатое управления автоматическими повторяющимися двойными ходами рабочего органа технологической машины. Успешно работают в производственных условиях гидроимпульсные приводы описанного типа с установочными мощностями до 30 кВт, мгновенными мощностями до 200 кВт и более при частоте импульсов до 30 Гц. В лабораторных условиях получены частоты до 90 Гц с установочными мощностями 16 кВт.

Список литературы.

1. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, В.П. Надутый. — Днепропетровск, НГА Украины, 2002. — 186 с.
2. Матвеев И.Б. Гидропривод машин вибрационного и вибрационного действия / И.Б. Матвеев. — М., Машиностроение, 1977. — 184 с.
3. Иванов М.Е. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М.Е. Иванов, И.Б. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, И.В. Коц и др. — М., Машиностроение, 1977. — 176 с.
4. Коц І.В. Динаміка грохотів з гідравлічним штовхаючим приводом // Український міжвідомчий н.-т. збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні». — №40. — Львів, НТУ «Львівська політехніка», 2006. — С.143–148.
5. А.с. № 912834 (СССР), МКЛ.³ Е 02Д 7/10. Гидромолот / Коц И.В., Матвеев И.Б., Иванов М.Е. Оpubл. 15.03.1982, Бюл. №10. — С. 76.
6. Коц І.В. Дослідження вібротранспортуючих пристроїв з гідравлічним приводом І.В. Коц, А.Й. Островський // Всеукраїнський н.-т. журнал «Вібрації в техніці та технологіях». — 2005. — №4(42). — С.54–57.