

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

О. С. Володько

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Учебное пособие

Кинель 2014

УДК 629.1.065(075.32)

В-68

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры «Тракторы, автомобили
и теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»

Д. А. Уханов;

канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин
и технологического оборудования» ФГБОУ ВПО «Ульяновская
государственная сельскохозяйственная академия им. П. А. Столыпина»

А. Л. Хохлов

Володько, О. С.

В-68 Гидравлические и пневматические системы транспортно-
технологических машин : учебное пособие. – Кинель :
РИЦ СГСХА, 2014. – 252 с.

ISBN 978-5-88575-336-4

В учебном пособии приведены характеристики наиболее распространенных в настоящее время гидравлических и пневматических приводов, описаны принцип их действия, достоинства и недостатки. Особое внимание уделено принципу работы, конструкции узлов и механизмов гидравлических и пневматических систем транспортно-технологических машин и оборудования. В пособии приведены основы расчета элементов гидравлических и пневматических систем.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям: 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

© Володько О. С., 2014
© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие..... | 6 |
| 1. Общие сведения о гидравлических приводах..... | 8 |
| 1.1. Структурная схема гидропривода..... | 8 |
| 1.2. Классификация и принцип работы гидроприводов..... | 10 |
| 1.3. Преимущества и недостатки гидроприводов..... | 15 |
| 2. Объемные гидравлические машины..... | 18 |
| 2.1. Гидромашины, их общая классификация и основные параметры..... | 18 |
| 2.2. Гидрообъемные насосы и двигатели..... | 24 |
| 2.2.1. Основные сведения об объемных насосах..... | 24 |
| 2.2.2. Возвратно-поступательные (поршневые) насосы..... | 26 |
| 2.2.3. Винтовые насосы и двигатели..... | 32 |
| 2.2.4. Общие свойства и классификация роторных насосов.. | 35 |
| 2.2.5. Шестеренные насосы..... | 36 |
| 2.2.6. Пластинчатые насосы..... | 40 |
| 2.2.7. Роторно-поршневые насосы..... | 44 |
| 2.3. Гидроцилиндры..... | 49 |
| 2.3.1. Гидроцилиндры прямолинейного действия..... | 49 |
| 2.3.2. Поворотные гидроцилиндры..... | 53 |
| 2.3.3. Механизмы с гибкими разделителями..... | 57 |
| 3. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура..... | 61 |
| 3.1. Основные термины, определения и классификация гидроаппаратов..... | 61 |
| 3.2. Гидравлические распределители..... | 63 |
| 3.2.1. Общие сведения о гидрораспределителях..... | 63 |
| 3.2.2. Направляющие гидрораспределители..... | 65 |
| 3.2.3. Дросселирующие гидрораспределители..... | 72 |
| 3.2.4. Гидрораспределители с электрическим управлением. | 74 |
| 3.3. Гидравлические клапаны..... | 77 |
| 3.3.1. Регулирующие гидроклапаны..... | 78 |
| 3.3.2. Направляющие гидроклапаны..... | 87 |
| 3.3.3. Ограничители расхода..... | 89 |
| 3.3.4. Делители (сумматоры) потока..... | 90 |

| | |
|--|-----|
| 3.4. Гидродроссели..... | 90 |
| 4. Рабочие жидкости, гидролинии, вспомогательное оборудование..... | 97 |
| 4.1. Характеристика рабочих жидкостей..... | 97 |
| 4.2. Гидравлические линии..... | 100 |
| 4.3. Вспомогательные устройства | 109 |
| 4.3.1. Гидробаки..... | 109 |
| 4.3.2. Гидроаккумуляторы..... | 111 |
| 4.3.3. Кондиционеры..... | 112 |
| 5. Объемные гидроприводы..... | 123 |
| 5.1. Общие сведения об объемных гидроприводах..... | 123 |
| 5.2. Гидроприводы с дроссельным регулированием..... | 123 |
| 5.3. Гидроприводы с объемным регулированием..... | 130 |
| 5.4. Гидроприводы с объемно-дроссельным регулированием..... | 135 |
| 5.5. Сравнение способов регулирования гидроприводов..... | 136 |
| 5.6. Системы синхронизации движения выходных звеньев нескольких гидродвигателей..... | 138 |
| 5.7. Следящие гидроприводы..... | 141 |
| 6. Гидродинамические передачи..... | 145 |
| 6.1. Общие сведения о гидродинамических передачах..... | 145 |
| 6.2. Устройство и рабочий процесс гидромуфты..... | 150 |
| 6.3. Устройство и рабочий процесс гидротрансформатора | 156 |
| 7. Монтаж и эксплуатация гидроприводов..... | 164 |
| 7.1. Монтаж гидроприводов..... | 164 |
| 7.2. Наладка, пуск и эксплуатация гидроприводов..... | 171 |
| 7.3. Особенности эксплуатации основных агрегатов и использование рабочих жидкостей гидросистем | 174 |
| 7.4. Основные мероприятия, проводимые при техническом обслуживании гидросистем..... | 185 |
| 8. Пневматические приводы..... | 189 |
| 8.1. Область применения, достоинства и недостатки, классификация, особенности пневматических приводов.... | 189 |
| 8.2. Системы подготовки сжатого воздуха..... | 196 |
| 8.3. Пневматические машины..... | 207 |
| 8.4. Пневматические элементы управления и контроля..... | 217 |

| | |
|---|-----|
| 9. Монтаж и эксплуатация пневмоприводов..... | 223 |
| 9.1. Монтаж пневматических элементов..... | 223 |
| 9.2. Эксплуатация пневматических приводов и систем..... | 227 |
| Приложения | 231 |
| Алфавитно-предметный указатель..... | 248 |
| Рекомендуемая литература..... | 251 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Гидравлические и пневматические приводы являются одними из наиболее значимых элементов современных транспортно-технологических машин и комплексов: автомобилей, подъемно-транспортных машин, дорожно-строительной техники, станков, оборудования и инструментов станций технического обслуживания автомобилей и др. техники. Они широко используются в мобильных энергетических средствах и технологическом оборудовании.

Рабочие органы многих машин и оборудования приводятся в движение гидро- и пневмоприводами, которые позволяют создавать значительные усилия и крутящие моменты, облегчают работу операторов, повышают производительность труда, улучшают эргономическую обстановку. Надежность и эффективность применения гидрофицированных машин и технологического оборудования в значительной степени зависит от совершенствования гидро- и пневмоприводов, безопасности их эксплуатации, а главное компетентности специалистов, занятых их расчетом, проектированием и эксплуатацией.

Цель издания «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» формирование у студентов системы компетенций для решения профессиональных задач по эффективному использованию, обеспечению высокой работоспособности и сохранности гидравлических и пневматических систем.

В процессе изучения учебного пособия «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» студент должен:

- освоить принципы действия и основные конструктивные и эксплуатационные особенности гидро- и пневмомашин, гидравлических и пневматических устройств и оборудования;
- ознакомиться с основами расчета гидро- и пневмоприводов транспортных, транспортно-технологических машин и гаражного оборудования;
- приобрести навыки в чтении и составлении схем гидравлических и пневматических приводов.

Представленный в учебном пособии материал в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и требованиями к результатам освоения основной образовательной программы по направлению 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» способствует формированию следующих профессиональных компетенций:

- *использование* основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

- *владение знаниями* технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортной техники, причин и последствий прекращения ее работоспособности;

- *владение умением* изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы по совершенствованию технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства;

- *владение знаниями* методов монтажа транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования, используемого в отрасли.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ

1.1. Структурная схема гидропривода

Гидроприводом называется совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин посредством рабочей жидкости, находящейся под давлением, с одновременным выполнением функций регулирования и реверсирования скорости движения выходного звена гидродвигателя.

Гидроприводы могут быть двух типов: *гидродинамические* и *объемные*.

В *гидродинамических* приводах используется в основном кинетическая энергия потока жидкости.

В *объемных* гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости. Объемный гидропривод состоит из гидропередачи, устройств управления, вспомогательных устройств и гидролиний (рис. 1.1).

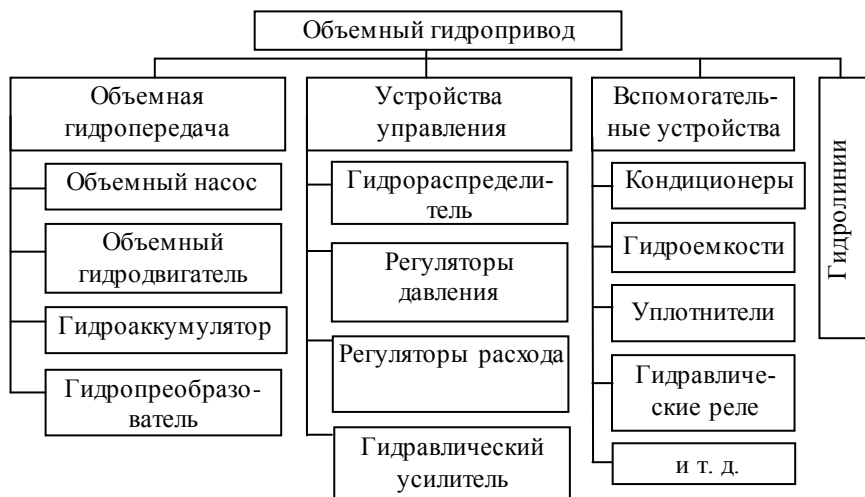


Рис. 1.1. Схема объемного гидропривода

Объемная гидropередача, являющаяся силовой частью гидропривода, состоит из *объемного насоса* (преобразователя механической энергии приводящего двигателя в энергию потока рабочей жидкости) и *объемного гидродвигателя* (преобразователя энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена).

В состав некоторых объемных гидropередач входит *гидроаккумулятор* (гидроемкость, предназначенная для аккумуляирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего ее использования для приведения в работу гидродвигателя). Кроме того, в состав гидropередач могут входить также *гидропреобразователи* – объемные гидромашины для преобразования энергии потока рабочей жидкости с одними значениями давления P и расхода Q в энергию другого потока с другими значениями P и Q .

Устройства управления предназначены для управления потоком или другими устройствами гидропривода. При этом под управлением потоком понимается изменение или поддержание на определенном уровне давления и расхода в гидросистеме, а также изменение направления движения потока рабочей жидкости. К устройствам управления относятся:

- *гидрораспределители*, служащие для изменения направления движения потока рабочей жидкости, обеспечения требуемой последовательности включения в работу гидродвигателей, реверсирования движения их выходных звеньев и т.д.;
- *регуляторы давления* (предохранительный, редуцирующий, переливной и другие клапаны), предназначенные для регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме;
- *регуляторы расхода* (делители и сумматоры потоков, дроссели и регуляторы потока, направляющие клапаны), с помощью которых управляют потоком рабочей жидкости;
- *гидравлические усилители*, необходимые для управления работой насосов, гидродвигателей или других устройств управления

посредством рабочей жидкости с одновременным усилением мощности сигнала управления.

Вспомогательные устройства обеспечивают надежную работу всех элементов гидропривода. К ним относятся: *кондиционеры рабочей жидкости* (фильтры, теплообменные аппараты и др.); *уплотнители*, обеспечивающие герметизацию гидросистемы; *гидравлические реле давления*; *гидроемкости* (гидробаки и гидроаккумуляторы рабочей жидкости) и др.

Состав вспомогательных устройств устанавливают исходя из назначения гидропривода и условий, в которых он эксплуатируется.

Гидролинии (трубы, рукава высокого давления, каналы и соединения) предназначены для прохождения рабочей жидкости по ним в процессе работы объемного гидропривода. В зависимости от своего назначения гидролинии, входящие в общую гидросистему, подразделяются на всасывающие, напорные, сливные, дренажные и гидролинии управления.

1.2. Классификация и принцип работы гидроприводов

В зависимости от конструкции и типа входящих в состав гидрорепердачи элементов объемные гидроприводы можно классифицировать по нескольким признакам.

По характеру движения выходного звена гидродвигателя:

- *гидропривод вращательного движения* (рис. 1.2), когда в качестве гидродвигателя применяется гидромотор, у которого ведомое звено (вал или корпус) совершает неограниченное вращательное движение;

- *гидропривод поступательного движения* (рис. 1.3), у которого в качестве гидродвигателя применяется гидроцилиндр – двигатель с возвратно-поступательным движением ведомого звена (штока поршня, плунжера или корпуса);

2. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

2.1. Гидромашины, их общая классификация и основные параметры

Основными элементами гидросистем являются гидромашины.

Гидромашина – это устройство, создающее или использующее поток жидкой среды.

Посредством этого устройства происходит преобразование подводимой механической энергии в энергию потока жидкости или использование энергии потока рабочей жидкости для совершения полезной работы. К гидромашинам относятся насосы и гидродвигатели.

Насосом называется гидромашина, преобразующая механическую энергию привода в энергию потока рабочей жидкости. Основными параметрами, характеризующими работу насоса, привод которого осуществляется от источника механической энергии вращательного движения, являются:

- *напор* насоса H_n (м) – приращение полной удельной механической энергии жидкости в насосе;
- *подача* насоса Q_n (м³/с) – объем жидкости, подаваемый насосом в напорный трубопровод в единицу времени;
- *частота вращения* вала насоса n (об/с) или (с⁻¹);
- *угловая скорость* ω рад/с (угловая скорость и частота вращения вала насоса связаны между собой соотношением $\omega = 2\pi n$);
- *потребляемая мощность* насоса N (Вт) – мощность, подводимая к валу насоса;
- *полезная мощность* насоса N_n (Вт) – мощность, сообщаемая насосом потоку жидкости;
- *коэффициент полезного действия (КПД)* насоса η_n – отношение полезной мощности насоса к потребляемой.

Некоторые из отмеченных параметров необходимо рассмотреть подробнее.

Одним из важнейших параметров насоса является его напор. Он равен разности полных напоров жидкости на выходе насоса и на входе в него, т.е. зависит от нивелирных высот z , давлений p , скоростей течения жидкости v , а также коэффициентов Кориолиса

α и плотности жидкости ρ . После алгебраических преобразований эта разность приводится к формуле

$$H_H = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{a_2 \cdot v_2^2 - a_1 \cdot v_1^2}{2g}, \quad (2.1)$$

где индексы 1 относятся к параметрам на входе в насос, а 2 – на выходе.

Для существующих конструкций насосов разность высот $(z_2 - z_1)$ расположения центров тяжести входного и выходного проходных сечений ничтожно мала и ею в расчетах пренебрегают. Разность скоростных напоров (третье слагаемое в формуле (2.1)) можно принимать во внимание только в низконапорных насосах при условии, что у них площади входного и выходного отверстий отличаются по размерам.

Для подавляющего большинства насосов основной величиной, определяющей значение напора насоса, является разность пьезометрических высот (второе слагаемое в формуле (2.1)). Очень часто разность давлений на выходе и входе насоса называют давлением, создаваемым насосом, или просто давлением насоса $p_n = p_2 - p_1$. Таким образом, с учетом сказанного выше для большинства насосов можно считать

$$H_H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} = \frac{P_H}{\rho \cdot g}. \quad (2.2)$$

Необходимо также рассмотреть такой важный параметр насоса, как *коэффициент полезного действия*. КПД, или полный КПД, насоса определяется отношением полезной и потребляемой мощностей:

$$\eta = \frac{N_n}{N}, \quad (2.3)$$

Поскольку каждая единица веса жидкости, прошедшая через насос, приобретает энергию в количестве равном напору, а за единицу времени через насос протекает жидкость весом $Q_H \cdot \rho \cdot g$, следовательно, полезная мощность насоса определится выражением

$$N_n = Q_H \cdot \rho \cdot g \cdot H_H. \quad (2.4)$$

Потребляемая мощность насоса N , т.е. мощность на его валу, определяется по формуле

$$N = M_H \cdot \omega = \frac{Q_H \cdot \rho \cdot g \cdot H_H}{\eta}, \quad (2.5)$$

где M_H – момент на валу насоса;

ω – угловая скорость вала насоса.

По мощности, потребляемой насосом, подбирают привод.

Необходимо отметить, что для характеристики работы гидромашин, кроме полного КПД, используют также частные КПД, которые учитывают различные виды потерь энергии. Различают три основных вида потерь энергии.

Гидравлические потери — это потери напора на движение жидкости в каналах внутри гидромашин обусловленные трением и вихреобразованием при течении в проточной части машины. Их величину оценивают *гидравлическим КПД η_g* . Применительно к насосу гидравлический КПД

$$\eta_g = \frac{H_H}{H_T} = \frac{H_H}{H_H + \sum h}, \quad (2.6)$$

где H_T – теоретический напор насоса;

$\sum h$ – суммарные потери напора на движение жидкости внутри насоса.

Объемные потери – это потери на утечки и циркуляцию жидкости через зазоры внутри гидромашин из области высокого давления в область низкого. Они оцениваются *объемным КПД η_o* . Применительно к насосу объемный КПД можно рассчитать следующим образом

$$\eta_o = \frac{Q_H}{Q_T} = \frac{Q_H}{Q_H + q_{yt}}, \quad (2.7)$$

где Q_T – теоретическая подача насоса;

q_{yt} – суммарная утечка жидкости из области нагнетания в область всасывания.

Механические потери – это потери на механическое трение в подшипниках и уплотнениях гидромашин, оцениваемые *механическим КПД η_m* . Применительно к насосу механический КПД можно определить по формуле