

Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Кафедра «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод»

Н.С. Галдин, И.А. Семенова

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОЦИЛИНДРОВ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРНЫХ УСТРОЙСТВ

*.....
Методические указания*

Омск ■ 2018

УДК 625.76 : 626.226
ББК 39.91-948.5
Г15

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензент

д-р техн. наук, проф. В.С.Щербаков (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве методических указаний.

Галдин, Николай Семенович.

Г 15 Расчет и проектирование гидроцилиндров и гидравлических ударных устройств [Электронный ресурс] : методические указания / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – (Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ). – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd654.pdf>, свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

Изложена методика расчета гидродвигателей возвратно-поступательного действия (гидроцилиндров) и гидравлических ударных устройств. Расчет включает определение основных параметров гидроцилиндров и гидроударных устройств, применяемых в качестве активных рабочих органов дорожно-строительных машин.

Имеют интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначены для обучающихся всех форм направлений подготовки бакалавров и магистров «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», специалистов по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» при выполнении курсовых работ, выпускных квалификационных работ и расчетно-графических работ.

Подготовлены на кафедре «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод».

Текстовое (символьное) издание (1,5 МБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 Мб; Windows XP/Vista/7; DVD-ROM;

1 Гб свободного места на жестком диске; программа для чтения pdf-файлов:

Adobe Acrobat Reader; Foxit Reader

Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание первое. Дата подписания к использованию 30.07.2018

Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5

РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование гидроцилиндров, гидравлических ударных устройств по дисциплинам «Гидравлические системы», «Проектирование гидропривода мобильных машин», «Гидравлические импульсные системы», «Гидравлика, гидромашины, гидропривод», «Теория и проектирование гидропривода», а также при выполнении выпускной квалификационной работы способствует обобщению и закреплению теоретических знаний студентов, имеет целью развитие навыков самостоятельной творческой работы студентов, пользования справочной литературой, ГОСТами, нормативными документами, выполнения расчетов, чертежей и составления текстовых конструкторских документов.

Объектами проектирования являются гидроцилиндры подъемно-транспортных, строительных, дорожных, коммунальных, мобильных и других машин и оборудования, а также гидравлические ударные устройства, применяемые в качестве активных рабочих органов дорожно-строительных машин.

Объем курсовой работы: один лист чертежа формата А1, пояснительная записка объемом 10-25 с.

Варианты заданий на проектирование гидроцилиндров, гидравлических ударных устройств выдаются преподавателем индивидуально.

Единицы измерения физических величин должны соответствовать международной системе (СИ).

Настоящие задания для выполнения курсовой работы дополняют имеющуюся литературу по проектированию гидроцилиндров, гидравлических ударных устройств /1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17/.

1.ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1.1. Требования к пояснительной записке

Общие требования к выполнению текстовых документов устанавливает ГОСТ 2.105-95. К текстовым конструкторским документам относятся пояснительные записки, технические условия, паспорта, расчеты, инструкции и т.п.

Текст документа при необходимости разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов и подразделов. Их следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Текст документа должен быть кратким, четким и однозначным.

В текстовых документах следует применять термины и определения, наименования и обозначения физических величин и их единицы, установленные стандартами. Сокращение слов в тексте не допускается, за исключением общепринятых в русском языке.

Формулы нумеруются либо в пределах раздела, либо в пределах всего документа.

Пояснительную записку выполняют рукописным способом чернилами на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 (210x297мм) либо с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Высота букв и цифр должна быть не менее 2,5 мм.

Страницы должны иметь стандартную рамку, выполненную чернилами или тушью. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм.

Пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист, являющийся первым листом записки;
- заглавный лист, являющийся вторым листом записки;

- введение;
- исходные данные для расчета гидроцилиндра, гидравлического ударного устройства (задание);
- расчет гидроцилиндра, гидравлического ударного устройства;
- заключение;
- список литературы.

Иллюстрации (расчетную схему, рисунки) выполняют с помощью графических редакторов.

Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию (рисунок 1, рисунок 2 и т. д.).

Пояснительную записку выполняют в текстовом редакторе на ЭВМ.

В расчетной части пояснительной записки при использовании формул, коэффициентов обязательны ссылки на литературу. Ссылки достаточно делать с указанием порядкового номера источника в приводимом в конце пояснительной записки списке использованной литературы. При этом номер литературного источника должен быть помещен в соответствующем месте строки основного текста и заключен в квадратные скобки. При использовании стандартов ссылки делают непосредственно на номер ГОСТа.

В заключении рекомендуется сформулировать основные результаты и выводы по выполненной работе, сделать критические замечания о спроектированном объекте, указать возможность использования других технических решений.

В список использованной литературы заносят полные наименования только тех книг, научных статей, патентов, которые были использованы при выполнении работы и на которые в тексте записки имеются ссылки.

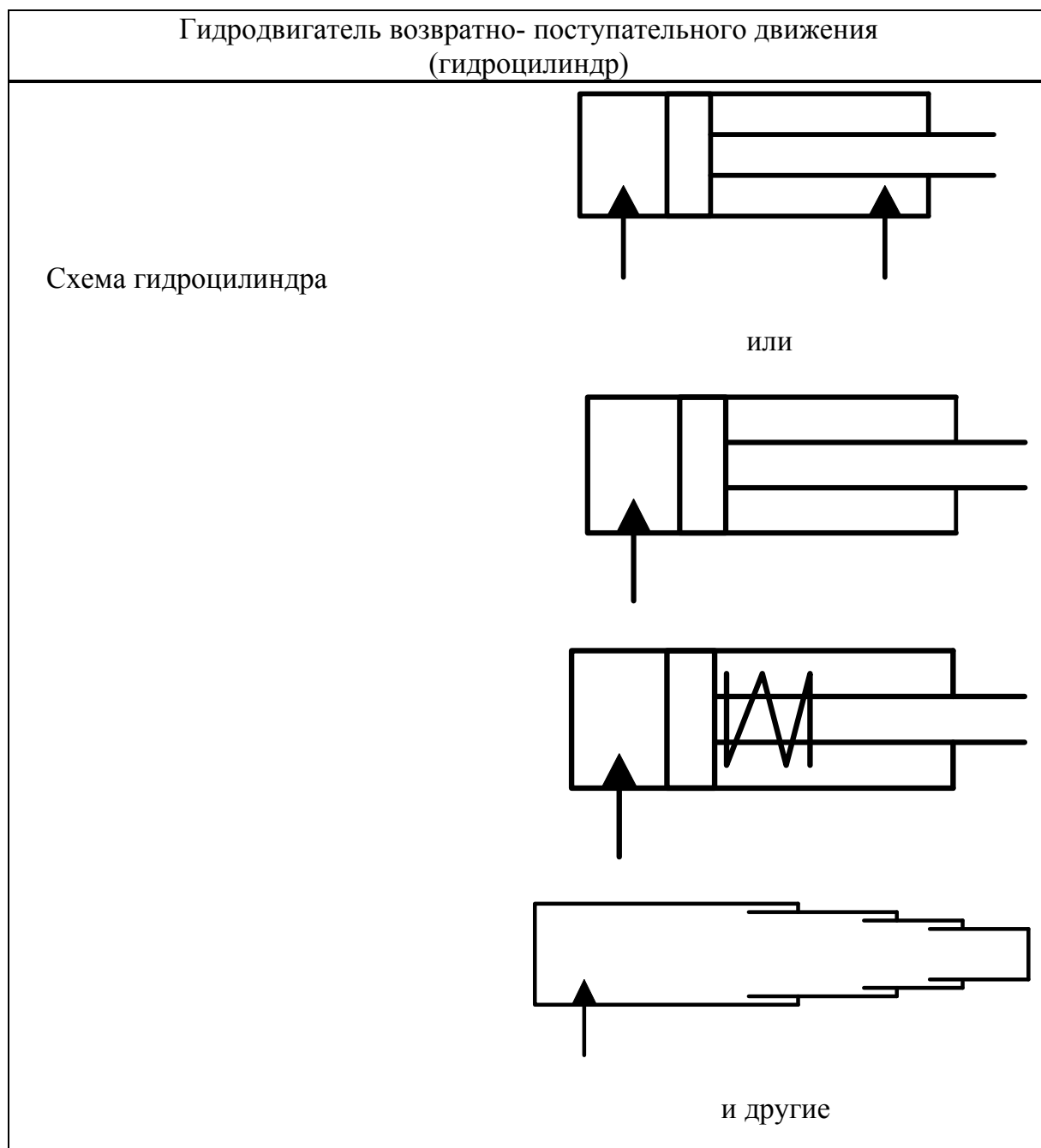
1.2. Требования к графическим документам (чертежам)

Все чертежи курсовой работы должны быть оформлены в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД). Чертежи выполняют с помощью графических редакторов на ЭВМ и листах формата А1.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ГИДРОЦИЛИНДРОВ, ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРНЫХ УСТРОЙСТВ

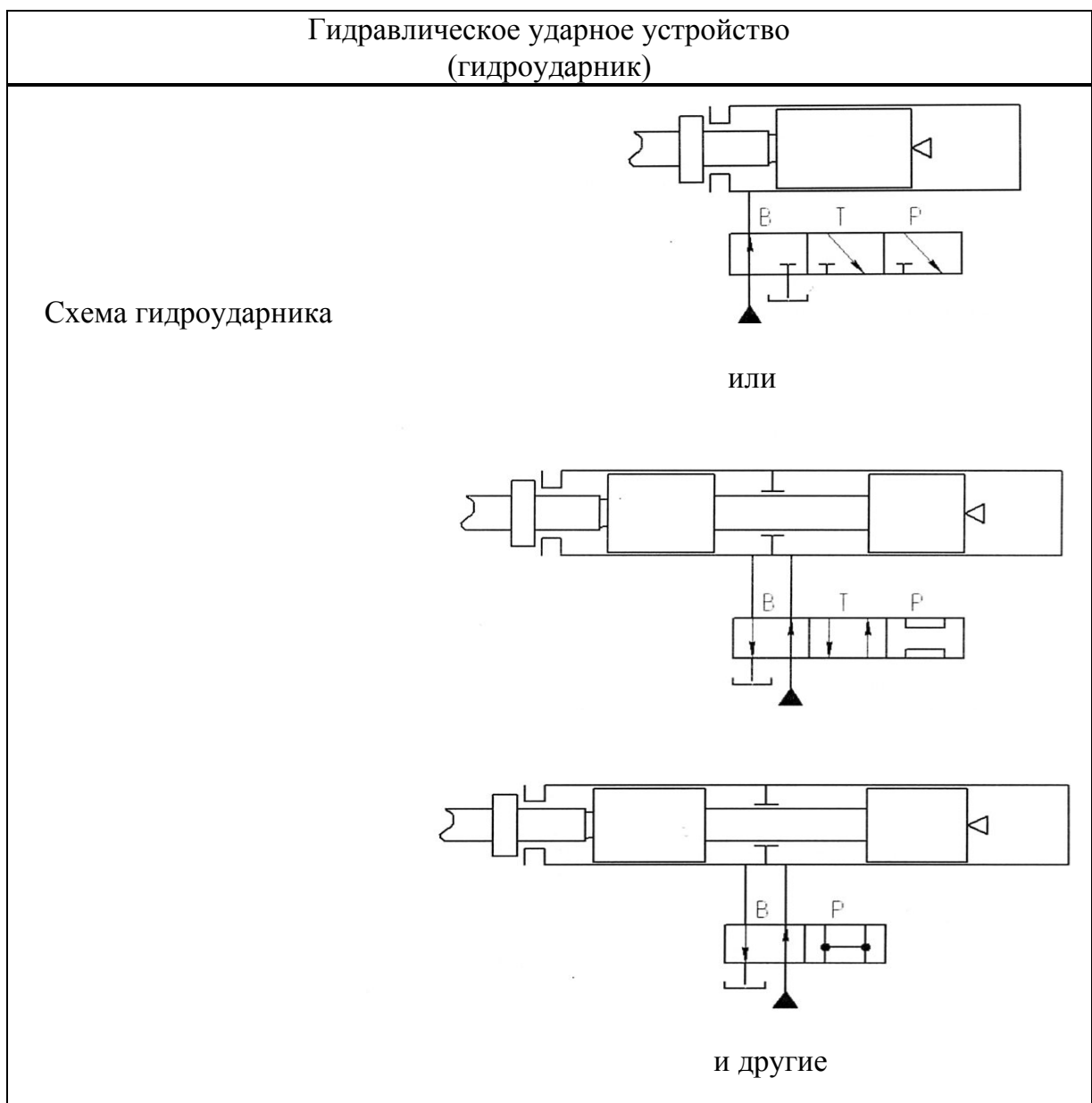
Варианты заданий на проектирование гидроцилиндров, гидравлических ударных устройств выдаются преподавателем индивидуально.

2.1. Исходные данные для расчета гидроцилиндра



Номинальное давление $p_{ном}$, МПа
Усилие на штоке гидроцилиндра F , кН
Скорость движения штока V , м/с
Ход штока L , м

2.2. Исходные данные для расчета гидравлического ударного устройства



Номинальное давление $p_{\text{ном}}$, МПа
Подача насоса базовой машины Q , $\text{дм}^3/\text{с}$
Энергия единичного удара T , Дж
Назначение гидроударника (для разрушения грунта, для уплотнения грунта и т.п.)

3. РАСЧЕТ ГИДРОЦИЛИНДРА

Гидравлические цилиндры (силовые гидроцилиндры) предназначены для преобразования энергии движущейся жидкости в механическую энергию поступательного движения выходного звена.

Гидравлические цилиндры (гидроцилиндры) – это гидродвигатели с возвратно-поступательным движением выходного звена. Благодаря своей конструктивной простоте, возможности реализации значительных усилий, малой стоимости, высоким удельным показателям и надежности гидроцилиндры являются самыми распространенными объемными гидродвигателями.

В зависимости от конструкции рабочей камеры гидроцилиндры подразделяются на поршневые, плунжерные, телескопические и сифонные.

Основным требованием при выборе гидроцилиндра является обеспечение исполнительным органом машины необходимого усилия F и скорости движения V выходного звена. Выходным звеном может быть как шток, так и корпус (гильза) гидроцилиндра.

В зависимости от направления действия рабочей среды гидроцилиндры бывают одностороннего действия, у которых движение выходного звена под действием жидкости возможно только в одном направлении, и двустороннего действия, у которых движение выходного звена под действием жидкости возможно в двух взаимно противоположных направлениях.

Наибольшее применение в объемных гидроприводах получили поршневые гидроцилиндры и, в частности, двустороннего действия с односторонним штоком.

Основными параметрами гидроцилиндров, определяющими их геометрические размеры и внешние характеристики, являются сле-

дующие: номинальное давление $p_{\text{ном}}$; усилие на штоке, скорость перемещения штока, ход поршня L .

По этим параметрам определяются диаметр поршня (гильзы) D ; диаметр штока d ; требуемый расход жидкости для обеспечения заданной скорости движения поршня со штоком.

На рис. 1 показаны расчетные схемы гидроцилиндров. Теоретическое усилие, развиваемое гидроцилиндром (см. рис. 1, а) при выталкивании одностороннего штока (жидкость поступает в поршневую полость А) без учета сил инерции, тяжести и трения определяется из условия равновесия всех сил, действующих на шток, по формуле

$$F_1 = p_1 S_1 - p_2 S_2, \quad (1)$$

где F_1 – усилие на штоке, Н; p_1 – давление в поршневой полости, Па; S_1 – рабочая (эффективная) площадь поршневой полости, м^2 ; $S_1 = \pi D^2 / 4$; p_2 – давление в штоковой полости, Па; S_2 – рабочая (эффективная) площадь штоковой полости, м^2 , $S_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$.

Следует заметить, что сила, действующая на выходное звено (рабочий орган), по величине равна силе F_1 , определяемой по формуле (1), но противоположна ей по направлению.

Расчетная скорость движения штока (см. рис. 1, а) без учета утечек рабочей жидкости определяется из условия неразрывности потока по формуле

$$V_1 = \frac{Q_{\text{ц}}}{S_1}, \quad (2)$$

где V_1 – скорость движения штока, м/с; $Q_{\text{ц}}$ – расход рабочей жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; S_1 – рабочая площадь поршневой полости, м^2 , $S_1 = \pi D^2 / 4$.

При втягивании штока (см. рис. 1, б), когда жидкость подается в штоковую полость Б, теоретическое усилие, развиваемое гидроцилиндром, определяется по формуле

$$F_2 = p_2 S_2 - p_1 S_1. \quad (3)$$

Расчетная скорость движения штока (см. рис. 1, б) определяется по формуле

$$V_2 = \frac{Q_{\text{ш}}}{S_2}. \quad (4)$$

Из формул (2) и (4) видно, что $V_1 < V_2$, так как $S_1 > S_2$.

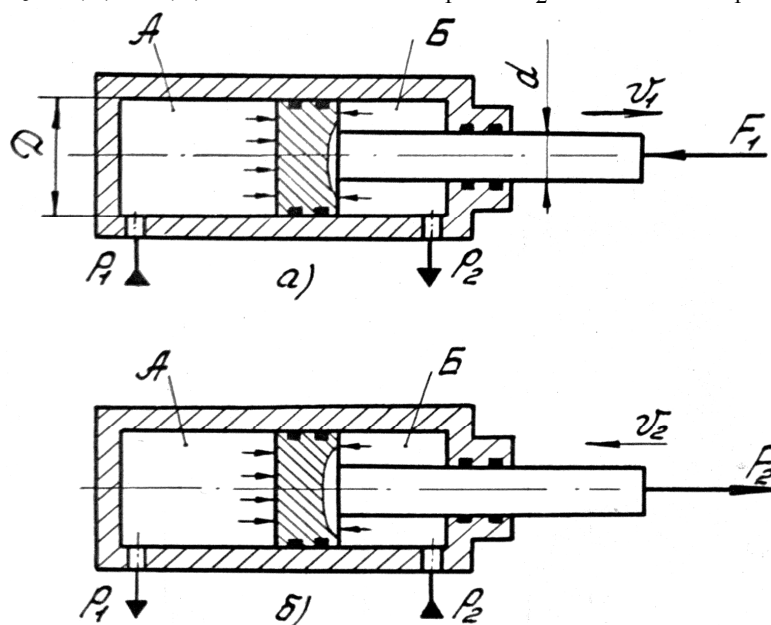


Рис. 1. Расчетные схемы гидроцилиндров:

а) с поршневой рабочей полостью; б) со штоковой рабочей полостью

Формулы (1) – (4) являются расчетными при определении геометрических параметров гидроцилиндров (диаметров поршня и штока), если заданы необходимые усилия на штоке, скорости движения выходных звеньев.

При проектировании гидроцилиндров задаются отношением диаметра штока к диаметру поршня равном $\varphi = d/D = 0,3 \dots 0,7$ (при давлении в гидроприводе $p < 1,5$ МПа рекомендуется принимать $\varphi = 0,3$, при $1,5 \text{ МПа} < p < 5,0 \text{ МПа}$ – $\varphi = 0,5$, а при $5,0 \text{ МПа} < p < 30 \text{ МПа}$ – $\varphi = 0,7$).

Толщины стенки, днища корпуса гидроцилиндра вычисляются по формулам

$$\delta_{\text{ст}} \geq \frac{p_{\text{max}} D}{2[\sigma]}; \quad (5)$$

$$\delta_{\text{дн}} \geq 0,433D \sqrt{\frac{p_{\text{max}}}{[\sigma]}}, \quad (6)$$

где $\delta_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{дн}}$ – толщины стенки, днища соответственно; p_{max} – максимальное давление в полостях гидроцилиндра; D – диаметр поршня; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение растяжения материала корпуса.

Корпуса гидроцилиндров (гильзы) изготавливаются обычно из стальных бесшовных горячекатанных труб по ГОСТ 8732-78, сталей 35 и 45 или легированных сталей 40ХН, 40Х, 30ХГСА и др. Внутренние поверхности корпусов должны иметь шероховатость не более $R_{\alpha} = 0,1$ мкм и обрабатываются по посадке Н8. Наружные поверхности штока и поршня обрабатывают по посадке е8. Шероховатость поверхности штока $R_{\alpha} = 0,05$ мкм, а поршня $R_{\alpha} = 0,40 \dots 0,80$ мкм. Штоки изготавливаются из стальных поковок 45, 40Х, 45Х, 30ХГСА, поршни гидроцилиндров изготавливаются из сталей 35, 45, 40Х и др.

Основные параметры поршневых гидроцилиндров регламентируются ГОСТом 6540-68 телескопических гидроцилиндров – ГОСТом 16029-70, общие и технические требования к гидроцилиндрам – ГОСТом 16514-87.

В гидроприводах строительных и дорожных машин широко применяются поршневые гидроцилиндры двустороннего действия, рассчитанные на номинальное давление 10, 16, 25 и 32 МПа.

Для самоходных кранов применяются специальные гидроцилиндры на 16 МПа. Гидроцилиндры имеют очень много конструктивных исполнений.

Конструкции некоторых гидроцилиндров приведены на рис. 2, 3.

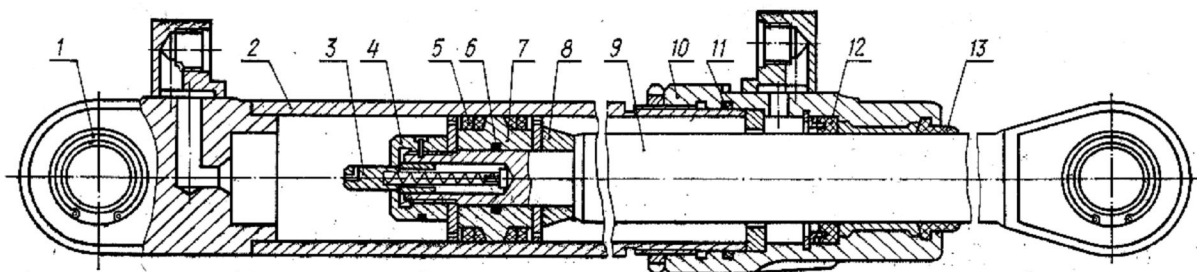


Рис. 2. Гидроцилиндр экскаватора ЭО-2621:

- 1 – проушина; 2 – цилиндр; 3 – демпфер; 4 – гайка; 5, 6, 11, 12 – уплотнения; 7 – поршень; 8 – упор; 9 – шток; 10 – передняя крышка; 13 – грязесъемник

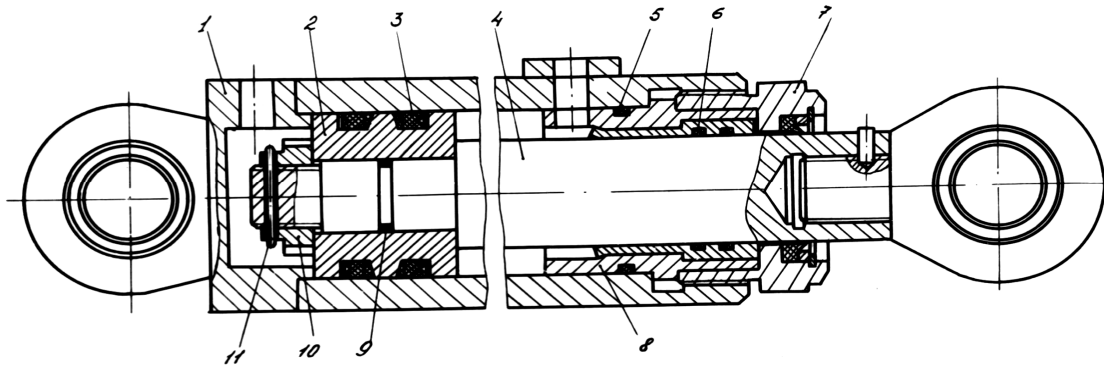


Рис. 3. Гидроцилиндр поршневой двустороннего действия с односторонним штоком:

1 – корпус; 2 – поршень; 3 – манжета; 4 – шток; 5, 6, 9 – уплотнение; 7, 10 – гайка; 8 – стакан; 11 – шплинт

4. РАСЧЕТ ГИДРОУДАРНИКА

Наибольшее распространение среди существующих способов разработки грунтов получил механический.

Активизация рабочих органов путем приложения различного рода импульсных нагрузок обеспечивает создание высоких динамических усилий, достаточных для эффективной разработки среды (мерзлого грунта, разрушения негабаритов, асфальтобетонных покрытий), уплотнения грунта.

В настоящее время благодаря простой и надежной конструкции большую известность получили гидромолоты для работы с грунтами (уплотнение, разрушение), с асфальтобетонными, железобетонными покрытиями и выполнения других видов работ. Основными параметрами гидромолотов, выполняющих указанные работы, являются: величина необходимой для разработки грунта энергии удара, частота ударов, ударная мощность.

Машины с активными рабочими органами (рис.4...6) находят все большее применение в различных областях строительства и производства.

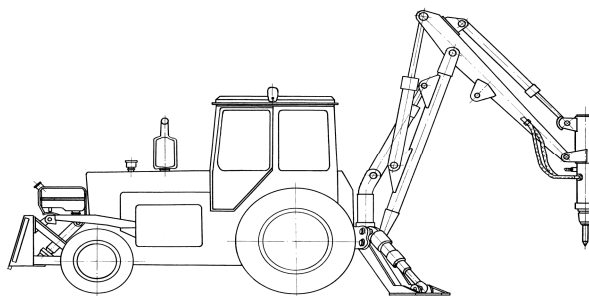


Рис. 4. Экскаватор ЭО-2621 с гидромолотом ГПМ-120

Гидромолот в общем виде состоит из корпуса, ударника (бойка), движущегося по направляющим корпуса, пневматического или гидравлического аккумулятора и сменного рабочего инструмента. Распределение жидкости у существующих гидромолотов осуществляется системой каналов в бойке и проточек в корпусе или золотниковым распределительным устройством.

Ковши активного действия экскаваторов предназначены для разработки массивов повышенной прочности до VI категории по прочности включительно.

Ковш активного действия включает несколько гидроударных устройств, состоящих из энергетического блока, блока управления рабочим циклом, инструмента, делителя потока и источника питания базовой машины – экскаватора.

Различные конструкции ковшей активного действия на основе гидроударников для экскаваторов ЭО-3322 и ЭО-4121, разработанные в различные периоды времени в СибАДИ, представлены на рис. 5, 6.

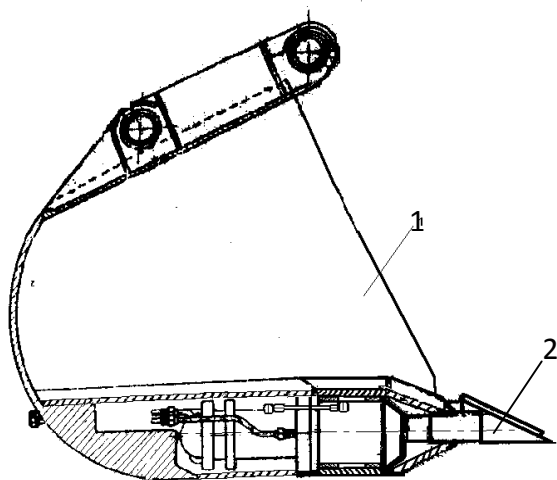


Рис. 5. Конструкция ковша активного действия экскаватора ЭО-3322 разработки СибАДИ:
1 – корпус ковша; 2 – ударные зубья

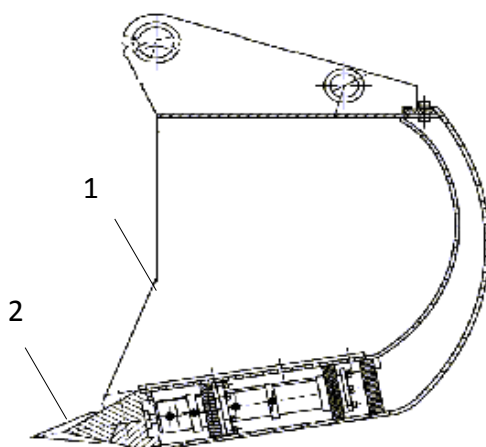


Рис. 6. Конструкция ковша активного действия экскаватора ЭО-4121 разработки СибАДИ:
1 – корпус ковша; 2 – ударные зубья

Гидропневматическое ударное устройство, как и гидроударники других типов, характеризуется цикличностью функционирования – холостым ходом подвижной части (взводом бойка ударника), заканчиваемым фазой торможения и рабочим ходом бойка (нанесением удара по обрабатываемой среде).

Органы управления рабочим циклом, осуществляющие распределение потоков жидкости в гидроударнике, представлены в виде гидрораспределителя, позиции которого соответствуют: **В** – взводу бойка, **Т** – торможению, **Р** – рабочему ходу бойка.

Гидропневмоударное устройство имеет, как правило, три полости: газовую (пневмоаккумуляторную), взводящую и сливную. После окончания холостого хода взводящая полость соединяется со сливной и под действием энергии сжатого газа пневмоаккумулятора подвижные части (боек) гидропневмоударника совершают рабочий ход – нанесение удара.

На рис. 7 представлена схема гидропневматического ударного устройства.

Полость взвода соединяется со сливной полостью при помощи распределительных устройств (блоков управления рабочим циклом): золотника, трубчатого клапана, втулки управления и др.

Полости взвода и пневмоаккумуляторная являются основными, обеспечивающими рабочий процесс гидроударника.

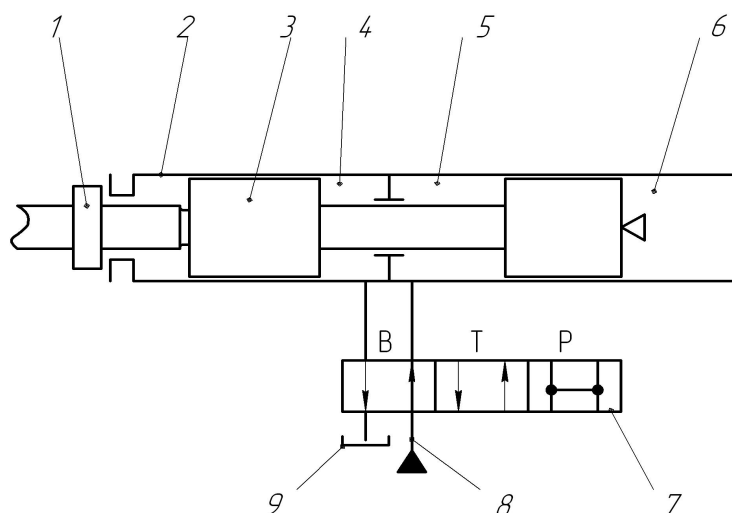


Рис. 7. Схема гидропневматического ударного устройства:

- 1 – инструмент; 2 – корпус; 3 – боек; 4 – камера низкого давления;
- 5 – камера высокого давления; 6 – пневмоаккумуляторная камера;
- 7 – орган управления рабочим циклом; 8 – напорная гидролиния;
- 9 – гидробак; (В – взвод бойка; Т – торможение; Р – разгон (рабочий ход)).

По способу освобождения взводящей полости от рабочей жидкости гидропневматические ударные устройства разделяют на два основных типа: с вытеснением рабочей жидкости в период рабочего хода непосредственно в сливную линию, с вытеснением рабочей жидкости в период рабочего хода в освобождающуюся сливную полость.

К основным параметрам гидроударников (гидромолотов) относятся:

- энергия единичного удара T ;
- масса подвижных частей (бойка) m ;
- частота ударов n ;
- эффективная (ударная) мощность $N_{уд}$;
- коэффициент полезного действия (КПД) η ;
- масса гидроударника M .

Эффективная (ударная) мощность гидромолотов определяется из выражения $N_{уд} = T \cdot \frac{n}{60}$ (здесь n – количество ударов в минуту).

Энергия единичного удара определяется выражением

$$T = m \cdot V_1^2 / 2, \quad (7)$$

где m – масса подвижных частей; V_1 – скорость подвижных частей в момент удара.

Конкретные значения энергии единичного удара могут быть получены различным сочетанием m и V_1 .

Анализ статистических данных по гидромолотам зарубежных фирм позволил выявить тесную связь и получить уравнения регрессии между следующими его основными параметрами /1, 2, 16, 17/:

- диаметром хвостовика инструмента гидромолота и энергией единичного удара гидромолота T :

$$d(T) = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2, \quad (8)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, $a_0 = 49,17$; $a_1 = 0,0354$;
 $a_2 = -2,8885 \cdot 10^{-6}$; T – энергия единичного удара, Дж, $T \in (200, 6000)$;

- массой гидромолота и энергией единичного удара гидромолота T :

$$M(T) = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2, \quad (9)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, $a_0 = 3,20$; $a_1 = 0,5704$;
 $a_2 = -0,000035$; T – энергия единичного удара, Дж, $T \in (200, 6000)$;

Уравнение сохранения энергии для рабочего хода бойка записывается следующим образом:

$$W_a = T + A_{\Gamma} + A_{\text{тр}}, \quad (10)$$

где W_a – энергия, развиваемая пневмоаккумулятором при расширении газа, Дж; T – требуемая кинетическая энергия единичного удара, Дж; A_{Γ} – работа, расходуемая на преодоление гидравлических сопротивлений при вытеснении рабочей жидкости из взводящей полости, Дж; $A_{\text{тр}}$ – работа сил механического трения при разгоне бойка, Дж.

Поскольку определение работ A_{Γ} , $A_{\text{тр}}$ представляет определенные трудности на начальном этапе проектирования гидроударника, то необходимое значение энергии можно определить по формуле

$$W_a = T / \eta_{\text{раз}}, \quad (11)$$

где $\eta_{\text{раз}}$ – КПД разгона гидроударного устройства, учитывающий потери энергии на перетекание жидкости и механическое трение при разгоне бойка, значение $\eta_{\text{раз}}$ можно принимать 0,6...0,8.

Энергия, развиваемая пневмоаккумулятором, зависит от его параметров и записывается следующим образом:

$$W_a = \frac{p_{r1} \cdot V_{r1}}{n-1} \cdot \left(\frac{E_r^n - E_r}{E_r^n} \right), \quad (12)$$

где W_a – энергия пневмоаккумулятора, Дж; p_{r1} – максимальное давление сжатого газа в пневмоаккумуляторе, Па; V_{r1} – объем, занимаемый газом при давлении p_{r1} , м³; n – показатель политропы, $n = 1,25 \dots 1,65$; E_r – степень сжатия газа, $E_r = 1,5 \dots 3,5$.

Степень сжатия газа определяется по формуле

$$E_r = V_{r0} / V_{r1}, \quad (13)$$

где V_{r0} – начальный объем, занимаемый газом, м³.

Максимальное давление газа зависит от давления зарядки пневмоаккумулятора и определяется выражением

$$p_{r1} = p_{r0} \cdot E_r^n, \quad (14)$$

где p_{r0} – давление зарядки, $p_{r0} \geq 0,5 \dots 1,5$ МПа.

По формулам (10) – (14) делаются расчеты нескольких вариантов пневмоаккумуляторов и выбираются необходимые параметры.

В качестве газа в пневмоаккумуляторе используется азот.

В расчетах необходимо учитывать, что показатель политропы для азота изменяется в диапазоне 1,25...1,65 (зависит от давления газа и температуры).

Масса бойка (подвижных частей) гидроударного устройства определяется исходя из требуемой энергии единичного удара и скорости подвижных частей в момент удара (которая берется в пределах 4...8 м/с) по формуле

$$m = 2 \cdot T / V_1^2, \quad (15)$$

где m – масса бойка, кг; T – кинетическая энергия единичного удара, Дж; V_1 – скорость бойка в момент удара, м/с.

Такие геометрические параметры гидроударника, как диаметры поршня, штока, рабочие площади взводящей, сливной полостей, зависят от максимального значения давления газа в пневмоаккумуляторе и номинального давления в гидроприводе базовой машины. При этом максимальное давление во взводящей полости гидроударника должно быть не более номинального давления рабочей жидкости в гидроприводе базовой машины.

Диаметры поршня, штока выбираются также с учетом применяемых диаметров поршней, штоков в гидроцилиндрах экскаваторов (для унификации уплотняющих элементов: резиновых колец, манжет), а также с учетом конструктивных соображений, например, для обеспечения требуемой массы подвижных частей гидроударника.

Частота ударов гидроударника зависит от времени цикла, на которое влияют ход бойка, рабочая площадь взводящей полости, подача насоса базовой машины.

Время идеального рабочего цикла гидроударного устройства (без учета времени задержки взвода) определяется по формуле

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{хх}} + t_{\text{рх}}, \quad (16)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла, с; $t_{\text{хх}}$ – время холостого хода, с; $t_{\text{рх}}$ – время рабочего хода, с.

Коэффициент асимметрии рабочего цикла k_a определяется по формуле

$$k_a = t_{\text{хх}} / t_{\text{рх}}. \quad (17)$$

Значения коэффициента k_a в расчетах принимаются равными $k_a = 5 \dots 10$.

Время холостого хода определяется из выражения

$$t_{xx} = S_B \cdot l / Q, \quad (18)$$

где t_{xx} – время холостого хода, с; S_B – рабочая (эффективная) площадь взводящей полости; l – ход подвижных частей, м; Q_1 – расход рабочей жидкости, равный подаче насоса базовой машины.

С учетом формул (9.14) и (9.15) время цикла равно

$$T_{\text{ц}} = \frac{S_B \cdot l}{Q_1} \cdot \left(t + \frac{l}{k_a} \right). \quad (19)$$

Частота ударов определяется выражением

$$n = 1 / T_{\text{ц}}. \quad (20)$$

Зная энергию и частоту ударов, определяем эффективную ударную мощность по формуле $N_{\text{уд}} = T \cdot n$.

КПД гидроударного устройства определяется отношением эффективной ударной мощности к мощности, развиваемой насосом базовой машины:

$$\eta = N_{\text{уд}} / N_{\text{н}}, \quad (21)$$

где $N_{\text{н}}$ – мощность, развиваемая насосом, Вт, $N_{\text{н}} = p_{\text{ср}} \cdot Q_1$, здесь $p_{\text{ср}}$ – среднее давление во взводящей полости, Па; Q_1 – подача насоса, м³/с.

Среднее давление гидропривода за цикл определяется по формуле

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} \int_0^{T_{\text{ц}}} p(t) dt, \quad (22)$$

где $p(t)$ – функция изменения давления во взводящей полости гидроударного устройства.

Различают также КПД разгона, который вычисляется отношением энергии единичного удара к энергии сжатого газа пневмоаккумулятора [см. формулу (11)].

Работоспособность гидроударного устройства во многом зависит от правильности выбора материала, посадок подвижных соединений, чистоты рабочих поверхностей, типов уплотнений и учета других

факторов при конструировании гидроударного устройства. Поскольку в настоящее время практически отсутствует широкодоступная литература по конструированию гидроударных устройств, то целесообразно применять имеющиеся рекомендации к гидроцилиндрам.

5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СТУДЕНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В процессе защиты студент кратко излагает назначение и принцип работы гидродвигателя возвратно-поступательного действия (гидроударного устройства) и особенности принятых решений при исследовании и проектировании гидроцилиндра (гидроударного устройства).

В процессе обсуждения студент должен показать, что он овладел общими методами проектирования гидроцилиндра (гидроударного устройства), получил навыки выполнения конкретных расчетов, владеет аналитическими и графическими методами исследования гидроцилиндра (гидроударного устройства), может обосновать целесообразность принятия конкретных решений при проектировании гидроцилиндра (гидроударного устройства).

Критерии формирования оценки за курсовую работу:

1. Сроки выполнения курсовой работы.
2. Графическое оформление курсовой работы.
3. Оценка за защиту курсовой работы.

«ОТЛИЧНО» - ставится тогда, когда при защите курсовой работы студент успешно отвечает более чем на 80% заданных вопросов, демонстрируя при ответе знание как основной, так и дополнительной литературы по курсу.

«ХОРОШО» - ставится тогда, когда при защите курсовой работы студент успешно отвечает более чем на 60% заданных вопросов, демонстрируя при ответе знание основной литературы по курсу.

«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» - ставится при условии, что студент успешно отвечает более чем на 50% заданных вопросов, демонстрируя при ответе знание основной литературы по курсу при навязывающих вопросах со стороны преподавателя.

Студент, не защитивший курсовую работу, допускается к повторной защите не ранее чем через три дня. Третья защита курсовой работы проводится в комиссии.

Библиографический список

1. Галдин, Н.С. Многоцелевые гидроударные рабочие органы дорожно-строительных машин : моногр. / Н.С. Галдин. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2005. – 223 с.
2. Галдин, Н.С. Автоматизированное моделирование гидроударного оборудования для экскаваторов: монография / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2008. – 101 с.
3. Галдин, Н.С., Галдин, В.Н. Анализ влияния конструктивных параметров гидропневмоударников на энергетические показатели гидравлических импульсных систем строительных машин // Омский научный Вестник. Серия «Приборы, машины, технологии». – Омск : ОмГТУ, 2016. – № 5 (149). – С. 11–14.
4. Беленков, Ю.А. Гидравлика и гидропневмопривод : учебник / Ю.А. Беленков, А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин. – М. : Бастет, 2013. – 406 с.
5. Галдин, Н.С. Ковши активного действия для экскаваторов : учебное пособие / Н.С. Галдин, Е.А. Бедрина. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2003. – 52 с.
6. Галдин, Н.С. Гидравлические схемы мобильных машин : учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2013. – 203 с.
7. Галдин, Н.С. Основы гидравлики и гидропривода : учебное пособие / Н.С. Галдин. – Омск : СибАДИ, 2010. – 145 с.
8. Галдин, Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод : учебное пособие / Н.С. Галдин. – 2-е изд., стер. – Омск : СибАДИ, 2014. – 272 с.
9. Галдин, Н.С. Теория и проектирование гидропривода [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2016. – 149 с. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd128.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 15.03.2018).
10. Галдин, Н.С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин. Справочные материалы : учебное пособие / Н.С. Галдин. – 2-е изд., стер. – Омск : СибАДИ, 2008. – 128 с.
11. Галдин, Н.С. Гидравлические элементы мобильных машин [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2016. – 231 с. – Режим доступа: http://bek.sibadi.org/cgi-bin/cgiirbis_64.exe, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 15.03.2018).
12. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник / Т.М. Башта [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М. : Альянс, 2013. – 423 с.
13. Тарасов, В.Н. Теория удара в строительстве и машиностроении / В.Н. Тарасов, И.В. Бояркина, М.В. Коваленко, С.В. Кузнецов, И.Ф. Шлегель. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.
14. Теоретические основы создания гидроимпульсных систем ударных органов машин / А.С. Сагинов [и др.]. – Алма-Ата : Наука, 1985. – 256 с.
15. Ушаков, Л.С. Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. – М. : Машиностроение, 2000. – 416 с.
16. Щербаков, В.С. Моделирование гидравлических импульсных систем / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6, № 5. – С. 121–124.
17. Щербаков, В.С. Система моделирования гидравлического ударного устройства активного рабочего органа экскаватора [Электронный ресурс] : монография / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин, Н.С. Галдин. – Омск: СибАДИ, 2017. – 172 с.