

УДК (UDC) 625.08, 622.23.05

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО УСТРОЙСТВА И ЕГО ПРИВОДА

EVALUATING THE RELATIONSHIP OF PARAMETERS HYDRAULIC IMPACT DEVICE AND ITS DRIVE

Волков Н.Н.¹, Ределин Р.А.², Кравченко В.А.², Каманин Ю.Н.², Андреев А.В.²
Volkov N.N.¹, Redelin R.A.², Kravchenko V.A.², Kamanin Yu.N.², Andreev A.V.²¹ – ООО «Возрождение Север» (Орёл, Россия)¹ – Company «Vozrozhdenie Sever» (Orel, Russia)² – Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева (Орёл, Россия)² – Orel State University named after I.S. Turgenev (Orel, Russia)

Аннотация. В статье рассмотрено влияние параметров привода на характеристики гидравлических устройств ударного действия, отмеченные при анализе результатов математического моделирования. С использованием математического моделирования проведены вычислительные эксперименты и получены диаграммы характеристик гидравлической ударной системы, определяющие динамику её работы с различными типами приводных двигателей (электродвигателем, двигателем внутреннего сгорания, «идеальным» двигателем). Параметры гидравлического устройства ударного действия и настройка предохранительного клапана оставались неизменными. В результате проведенных вычислительных экспериментов получены графики перемещения и скорости бойка, перемещения золотника, давления в камерах рабочего и обратного хода, положения поршня гидроаккумулятора, подача насоса гидравлической станции во времени. Проведено сравнение полученных в настоящее время наиболее широкое распространение в строительном-дорожных машинах типов привода гидравлических устройств ударного действия (эквивалентных по мощности электродвигателя и дизельного двигателя внутреннего сгорания). Особое внимание уделено взаимосвязи параметров гидравлического устройства ударного действия и его привода. Выводы сделаны на основании зависимостей, полученных в результате вычислительных экспериментов. Проведенные исследования показывают наличие существенного влияния параметров привода на характеристики гидравлических ударных устройств (гидромолов), и, соответственно, необходимость учета параметров привода при их проектировании и эксплуатации.

Ключевые слова: гидравлическое устройство ударного действия, привод.

Дата принятия к публикации: 26.02.2020
Дата публикации: 25.06.2020

Сведения об авторах:

Волков Николай Николаевич – мастер, ООО «Возрождение Север», e-mail: 79536237187@ya.ru

Abstract. The article deals with some questions about the influence of drive parameters on the characteristics of hydraulic shock devices, noted during the analysis of the results of mathematical modeling. Using mathematical modeling, numerical experiments were performed and diagrams of the characteristics of a hydraulic shock system were obtained that characterize the dynamics of its operation with various types of drive engines, such as an electric motor, an internal combustion engine, and an "ideal" engine. The parameters of the hydraulic shock device and the setting of the pressure-relieve valve remained unchanged. As a result of numerical experiments obtain graphs of displacement and velocity of the piston, displacement of the control valve, pressure in the chambers of working and return stroke, the position of the piston of the accumulator, the pump flow rate in time. A comparison is given of the types of hydraulic shock devices that are currently most widely used in road construction vehicles (equivalent in power to an electric engine and an internal combustion diesel engine). Special attention is paid to the relationship between the parameters of the hydraulic shock device and its drive. The conclusions are made based on the dependencies obtained as a result of computational experiments. The studies show that there are significant influence parameters of the drive on the characteristics of hydraulic impact devices (hammers, breaker), and, accordingly, the need to consider drive parameters by designing and operating it.

Keywords: hydraulic impact device, drive.

Date of acceptance for publication: 26.02.2020
Date of publication: 25.06.2020

Authors' information:

Nikolay N. Volkov – master, Company «Vozrozhdenie Sever», e-mail: 79536237187@ya.ru

Ределин Руслан Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева»,
e-mail: rusland57@yandex.ru

Кравченко Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
e-mail: 19vak52@mail.ru

Каманин Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
e-mail: kamanchi22@mail.ru

Андреев Александр Владимирович – аспирант, кафедра «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
e-mail: andreev.a27@bk.ru

Ruslan A. Redelin – Candidate of Technical Science, Associate Professor at the Department of Hoisting-and-transport, Building and Road Machinery, Orel State University named after I.S. Turgenev,
e-mail: rusland57@yandex.ru

Valeriy A. Kravchenko – Candidate of Technical Science, Associate Professor at the Department of Hoisting-and-transport, Building and Road Machinery, Orel State University named after I.S. Turgenev,
e-mail: 19vak52@mail.ru

Yuriy N. Kamanin – Candidate of Technical Science, Associate Professor at the Department of Hoisting-and-transport, Building and Road Machinery, Orel State University named after I.S. Turgenev,
e-mail: kamanchi22@mail.ru

Alexandr V. Andreev – Graduate student of the Department of Hoisting-and-transport, Building and Road Machinery, Orel State University named after I.S. Turgenev,
e-mail: andreev.a27@bk.ru

1. Введение

По физическим объемам в транспортном строительстве, а также добыче полезных ископаемых наиболее трудоемкими являются земляные работы, связанные с разрушением мерзлых и скальных грунтов, переработкой строительных материалов. В качестве рабочего органа землеройной машины применяют ковши, отвалы, рыхлители [1], а также механические, пневматические, электрические, гидравлические ударные устройства, которые позволяют значительно повысить эффективность и объем проводимых работ. Наиболее эффективными из них являются гидравлические [2].

Гидравлические ударные устройства (гидравлические устройства ударного действия, отбойные гидравлические молоты, гидромолоты, гидроударники, гидромолотки) широко применяются в технологических машинах, предназначенных для разрушения прочных и мерзлых грунтов, горных пород, крепких строительных материалов. Опыт эксплуатации показывает, что машины ударного действия обеспечивают высокую эффективность работ при прокладке и ремонте транспортных магистралей и коммуникаций, проведении тоннелей, подготовке площадок под строительство (рыхление мерзлых и

скальных грунтов или уплотнение грунтов), реконструкции и сносе строительных объектов, добыче полезных ископаемых.

Гидромолот – гидравлическое устройство ударного действия, преобразующее энергию потока рабочей жидкости в механический импульс, формирующийся при ударе бойка по инструменту и передающийся последним объекту с целью изменения его формы или разрушения [2]. Гидромолот – быстросменное оборудование, которое подключается к гидравлической системе базовой машины. Это существенно расширяет область их применения в различных производственных процессах.

Рядом исследователей отмечается необходимость учета влияния привода на характеристики гидравлических ударных устройств как при проектировании, так и в ходе эксплуатации [2-10]. Однако на данный момент теоретическая основа вопроса освещена не в полной мере. Для анализа режимов работы гидравлического устройства ударного действия с учетом параметров привода была разработана математическая модель и проведены вычислительные эксперименты. Анализ результатов позволил сделать некоторые выводы о влиянии привода на характеристики гидравлических ударных устройств.

2. Вычислительный эксперимент

Для проведения вычислительного эксперимента в разработанную математическую модель были введены конструктивные параметры гидромолота модели 2944 (а.с. СССР № 1829510), насоса аксиально-поршневого 310.4.160 (рабочий объем 160 см³), электродвигателя АИР 250М4 (1500 об/мин, 90 кВт), характеристика предохранительного клапана, а также параметры рабочей жидкости (И20).

В результате моделирования с указанными параметрами были получены диаграммы характеристик гидравлической ударной системы, характеризующие динамику её работы. На рис. 1 представлены графики перемещения бойка (а), скорости бойка (б), перемещения золотника (в), давления в камере рабочего хода prh и давления в камере обратного хода roh на одном графике (г), положение поршня гидроаккумулятора (д), подача насоса гидравлической станции (е).

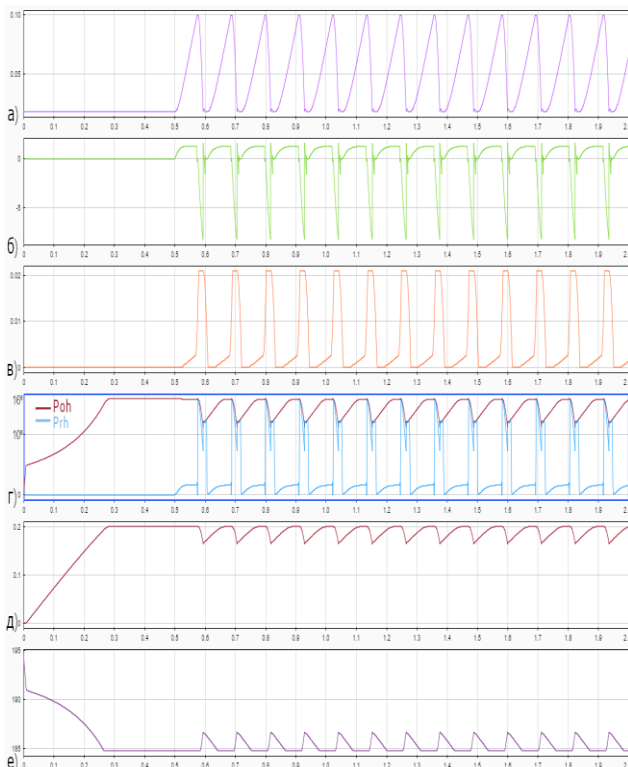


Рис. 1. Графики: а - перемещения бойка, м; б - скорости бойка, м/с; в - перемещения золотника, м; г - давление в камере рабочего хода prh и в камере обратного хода roh , МПа; д - положение поршня гидроаккумулятора, м; е - подача насоса гидравлической станции, л/мин

Запуск гидравлической станции по условиям моделирования происходит в нулевой момент времени, а включение гидравлического устройства ударного действия в работу осуществляется в момент времени 0,5 с, что хорошо видно на графике перемещения бойка (рис.1, а).

Зависимости, представленные на диаграммах, качественно соответствуют экспериментальным зависимостям, приведенным в работах других исследователей, что свидетельствует о физической адекватности разработанной модели [1-3].

При анализе диаграмм следует отметить, что до момента времени 0,28 с осуществляется выход системы на рабочий режим – происходит плавное повышение давления в гидравлической системе до значения настройки предохранительного клапана, на котором давление устанавливается вплоть до момента начала работы гидравлического устройства ударного действия. В это же время происходит зарядка гидропнеumoаккумулятора, что отражено на графике перемещения его поршня (рис.1, д).

На рис.1, е представлена диаграмма изменения подачи насоса во времени. По мере роста давления в гидравлической ударной системе возрастает нагрузка на гидравлический насос, в связи с чем происходит снижение его подачи. Это объясняется, в первую очередь, тем, что возрастающая нагрузка приводит к снижению числа оборотов приводного двигателя, в прямой зависимости от которой находится подача насоса. Также с ростом давления изменяется объемный коэффициент полезного действия гидронасоса, который характеризует величину потерь расхода рабочей жидкости внутри самого устройства и, таким образом, влияет на фактическое значение подачи насоса.

Для оценки влияния параметров привода на рабочий режим гидравлического устройства ударного действия были проведены вычислительные эксперименты с различными источниками энергии: дизельный двигатель внутреннего сгорания, электродвигатель, «идеальный» двигатель. Для корректности сравнения были выбраны двигатели с сопоставимыми параметрами (одинаковыми зна-

чениями номинальной мощности). Основные характеристики двигателей представлены в табл. 1.

«Идеальный» двигатель в вычислительных экспериментах представляет из себя приводной двигатель с постоянной частотой вращения (1500 об/мин) вне зависимости от нагрузки на валу. Результаты моделирования представлены на рис. 2. В верхней части диаграммы представлены изменения частоты оборотов вала соответствующего двигателя во времени, в нижней – производительность насоса гидравлической станции с соответствующим приводным двигателем.

Таблица 1
 Характеристики приводных двигателей

Двигатель/ тип двигателя	$N_{ном}$, кВт	J , кг·м ²	M , Н·м	$n_{ном}$, об/мин
Perkins 404J-E22T/ дизельный	45	1,14	222	2800
АИР200L4/ электродвигатель	45	0,018	292	1475

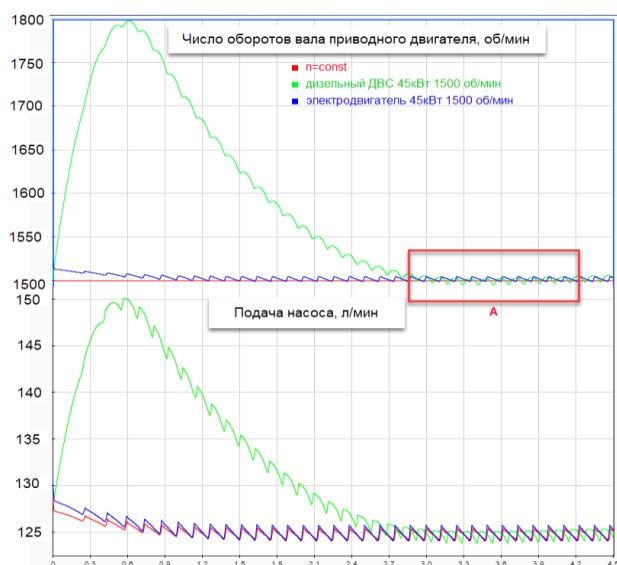


Рис. 2. Графики числа оборотов валов приводных двигателей и соответствующие им подачи насоса гидростанции

Параметры гидравлического устройства ударного действия и настройки предохранительного клапана при моделировании не изменялись.

Результаты показывают, что с любым из проверенных типов двигателей наблюдаются колебания подачи насоса гидростанции. При неизменных оборотах «идеального» двигате-

ля колебания также наблюдаются, что является следствием работы гидравлического устройства ударного действия (постоянное изменение давления в рабочих камерах), а также наличием объемных потерь в гидравлическом насосе, зависящих от текущего значения давления на его выходе.

График подачи гидростанции с дизельным двигателем (верхний график на рис. 2) значительно отличается от двух остальных. В начальный момент времени, когда нагрузка на двигатель незначительна (заданы начальные условия, при которых во всей гидросистеме давление отсутствует), обороты двигателя возрастают с начальных 1500 об/мин до 1800 об/мин, а затем по мере возрастания нагрузки на валу двигателя относительно медленно (в момент времени ~ 5 с) восстанавливаются до значения порядка заданных 1500 об/мин. При этом обороты электродвигателя устанавливаются уже ко времени 1,8 с и далее наблюдаются колебания около заданных оборотов, которые совпадают по частоте, характеру и объясняются колебаниями давления на выходе насоса (рис. 4). Более наглядно завершение переходного процесса (область А на рис. 2) представлено на рис. 3 (для лучшего восприятия по вершинам графика оборотов дизельного двигателя проведена толстая линия).

Рассмотренная особенность первичного привода в виде дизельного двигателя позволяет получить в начале работы более высокие значения выходных характеристик гидравлического устройства ударного действия. Это связано с тем, что при первоначальном повышении оборотов возрастает подача насоса.

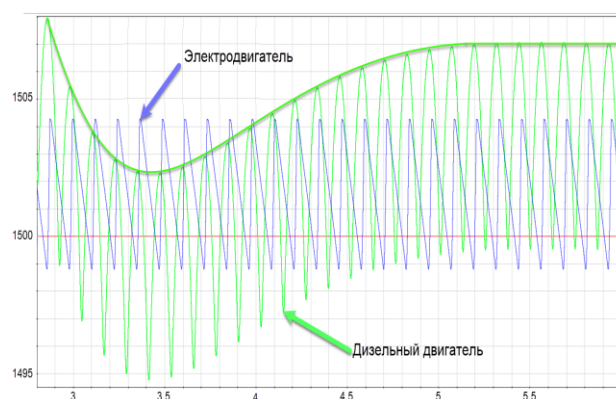


Рис. 3. Переходный процесс колебаний оборотов дизельного двигателя

Работу гидравлического устройства ударного действия можно охарактеризовать как кратковременную повторно-циклическую. То есть, как правило, при обработке какой-либо среды оператор устанавливает гидромолот в одной из точек на поверхности этой среды и создает усилие прижатия для запуска гидромолота. Далее либо среда разрушается в данной точке, либо необходимо сменить точку воздействия. Большинство производителей гидромолотов рекомендуют ограничивать время непрерывной работы до 15 с. Это объясняется тем, что в месте контакта инструмента с породой образуется пыль, снижающая эффективность разрушения материала и приводящая к активному нагреву инструмента.

Результаты настоящих исследований также свидетельствуют о том, что продолжительное безрезультатное воздействие гидромолотом (более 15 с) в одной и той же точке обрабатываемого объекта нецелесообразно, так как эффективность ударного воздействия гидромолота в первые секунды его работы значительно выше.

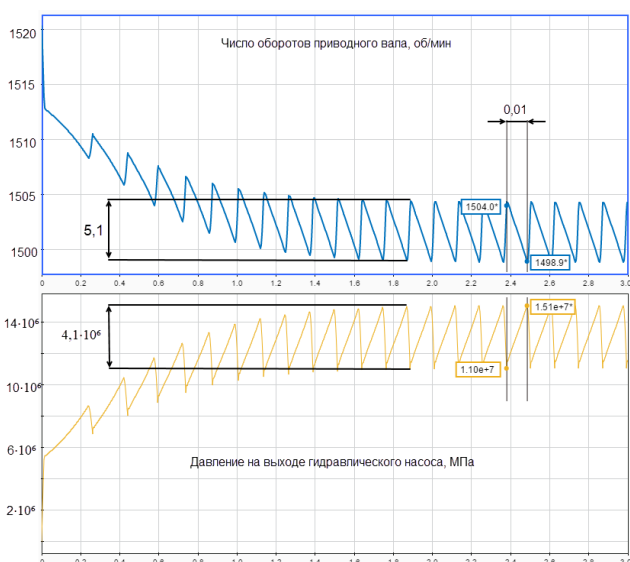


Рис. 4. Обороты вала электродвигателя и давление на выходе гидравлического насоса

Так, в рассматриваемом случае в момент времени 0,8...2 с энергия удара гидромолота с дизельным двигателем в качестве первичного привода изменяется в диапазоне 2097...2075 Дж, а в установившемся режиме энергия удара равняется 1950 Дж (соотно-

шение порядка 7,5%). С частотой ударов просматривается та же тенденция – снижение с 8,7...8,5 Гц до 8,1 Гц (соотношение 6,2%) в установившемся режиме. Соответственно, ударная мощность гидромолота с 18,2...17,7 кВт снижается до 15,9 кВт (соотношение 14,7...11,3%). При этом характер изменения выходных характеристик гидромолота с первичным приводом в виде электродвигателя, «идеального» двигателя, а также при постоянном расходе насоса существенно отличаются от рассмотренного и их значения постепенно увеличиваются до установившегося режима (рис. 6).

Постепенное увеличение энергии и частоты ударов, в том числе в случае постоянного расхода гидростанции, объясняется процессом зарядки сетевого гидроаккумулятора. Соответствующий этому процессу график перемещения поршня гидроаккумулятора представлен на рис. 5.

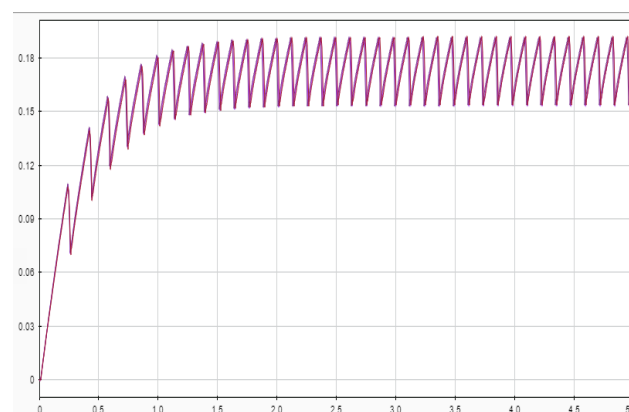


Рис. 5. График перемещения поршня гидроаккумулятора

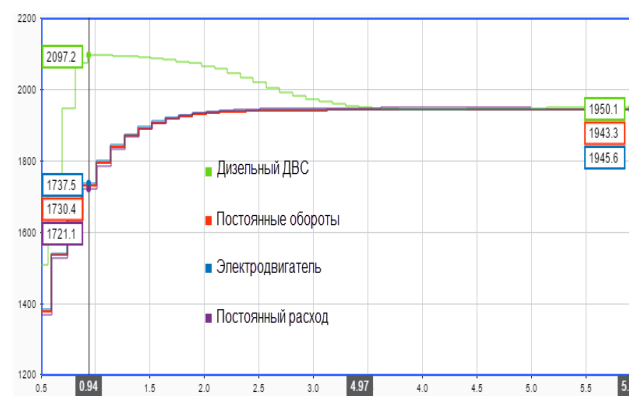


Рис. 6. График изменения энергии единичного удара при запуске гидромолота с различными источниками энергии

Существенное отличие характера поведения системы с дизельным двигателем объясняется особенностью его внешней скоростной характеристики и моментом инерции. Диапазон числа оборотов рабочей зоны дизельного двигателя (1300 об/мин) существенно (в 12 раз) превышает диапазон числа оборотов рабочей зоны электродвигателя (109 об/мин) без учета внешнего регулирования (рис. 7).

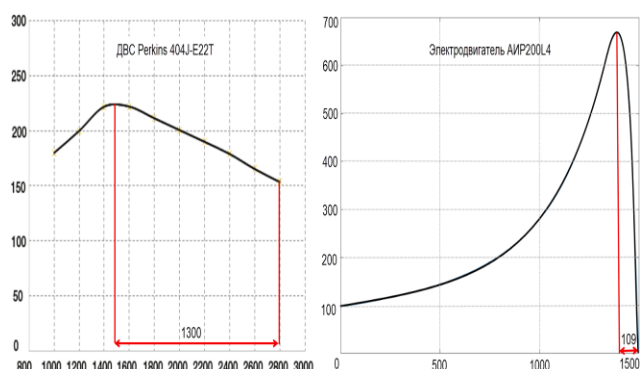


Рис. 7. Зависимость крутящего момента от числа оборотов дизельного и электродвигателей

Как видно из графиков, обороты двигателя внутреннего сгорания могут меняться в довольно широких пределах (1500...2800 об/мин), оставаясь при этом на рабочей ветви внешней скоростной характеристики, а у электродвигателя этот диапазон значительно меньше (1391...1500 об/мин). В то же время, кривая момента электродвигателя на рабочем участке более крутая, что говорит о высокой перегрузочной способности данного двигателя. Следовательно, обороты насоса

гидростанции с таким двигателем будут более стабильно и надежно удерживаться в рабочей зоне при изменении нагрузки, что и подтвердилось результатами вычислительного эксперимента.

Длительность переходного процесса, т.е. время выхода системы на установившиеся значения, во многом обусловлена моментом инерции первичного привода. Совокупность таких параметров, как относительно широкий рабочий диапазон числа оборотов и большая величина момента инерции дизельного двигателя ($1,14 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ для дизельного и $0,018 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ для электродвигателя) позволяет получить более высокие выходные характеристики гидромолота в первоначальный момент времени с постепенным их снижением до установившихся значений.

3. Заключение

Проведенные вычислительные эксперименты показывают наличие существенного влияния параметров привода на характеристики гидравлических ударных устройств (гидромолотов). Циклический характер работы гидромолота обуславливает наличие колебаний давления в гидросистеме, что, в свою очередь, приводит к колебаниям нагрузки на насосе и, как следствие, колебаниям оборотов приводного двигателя. Таким образом, необходимо учитывать параметры привода при проектировании и эксплуатации гидравлических ударных устройств.

Список литературы

1. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. М.: Машиностроение, 1977. 288 с.
2. Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А. Машины ударного действия. М.: Машиностроение, 2000. 416 с.
3. Городилов Л.В. Модель гидравлической ударной системы с источником постоянного расхода // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии: Материалы III международ. науч. симп. Орел: ОрелГТУ, 2006. С. 28–35.
4. Колоно В.В. Разработка и испытание

References

1. Fedorov D.I. Working bodies of earthmoving machines. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 288 p. (In Russian)
2. Ushakov L.S., Kotylev Yu.E., Kravchenko V.A. Impact Machines. Moscow: Mashinostroenie, 2000. 416 p. (In Russian)
3. Gorodilov L.V. Model of a hydraulic shock system with a constant flow source. In: *Udarno-vibracionnye sistemy, mashiny i tekhnologii: Materialy III mezhdunarod. nauch. simp.* Orel, 2006, pp. 28-35. (In Russian)
4. Koleno V.V. Development and testing of hydraulic impact machines powered by an Au-

гидравлических машин ударного действия с питанием от автономного передвижного гидроагрегата // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии: Материалы III международ. науч. симп. Орел: ОрелГТУ, 2006. С. 47–48.

5. Ределин Р.А., Кравченко В.А., Каманин Ю.Н., Волков Н.Н., Демидов А.И. Проблемы влияния приводных двигателей на параметры ударно-скалывающих исполнительных органов строительных и дорожных машин // Мир транспорта и технологических машин. 2017. №2(57). С. 60–66.

6. Митусов А.А., Решетникова О.С. Анализ параметров и конструкций современных гидромолотов // Труды университета. Караганда: КарГТУ, 2015. №1. С.6-41.

7. Решетникова О.С., Митусов А.А., Лагунова Ю.А. Специфические особенности эксплуатации механизмов ударного действия // Сб. докладов III Междунар. науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика–2016». Пермь, 2016. С. 72-75.

8. Решетникова О.С., Митусов А.А. Машинные исследования золотниковых распределителей // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докладов XII Междунар. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 334-338.

9. Решетникова О.С., Митусов А.А. Влияние параметров гидродвигателя ударного действия на гидравлические потери // Сб. докладов VI Междунар. науч. симп. «Ударно-вибрационные системы и машины для строительной и горной отраслей». Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. С. 161-164.

10. Юрьев Д.А., Горин А.В., Горина М.А. Влияние гидромолота на базовую машину // Ударно-вибрационные системы и машины для строительной и горной отраслей: материалы VI международ. науч. симп. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. С. 136-143.

11. Митусов А.А., Решетникова О.С. Анализ параметров и конструкций современных гидромолотов // Труды университета. Караганда: КарГТУ, 2015. №1. С. 32-35.

tonomous mobile hydraulic unit. In: *Udarno-vibracionnyye sistemy, mashiny i tekhnologii: Materialy III mezhdunarod. nauch. simp.* Orel, 2006, pp. 47-48. (In Russian)

5. Redelin R.A., Kravchenko V.A., Kamanin Yu.N., Volkov N.N., Demidov A.I. Problems of influence of drive motors on parameters of shock-splitting Executive bodies of construction and road machines. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2017, No. 2, pp. 60–66. (In Russian)

6. Mitusov A.A., Reshetnikova O.S. Analysis of parameters and designs of modern hydraulic hammers. *Trudy universiteta*, 2015, No. 1, pp. 36-41. (In Russian)

7. Reshetnikova O.S., Mitusov A.A., Lagunova Yu.A. Specific features of operation of impact mechanisms. In: *Sb. докладов III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Gornaya i neftyanaya elektromekhanika–2016»* [Proc. of the III Int. Scientific and Practical Conf.]. Perm, 2016, pp. 72-75. (In Russian)

8. Reshetnikova O.S., Mitusov A.A. Machine studies of spool distributors. In: *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoj i neftegazovoj promyshlennosti: sb. докладов XII Mezhdunar. konf. «Chteniya pamyati V.R. Kubacheka»* [Proc. of the XII Int. Conf.]. Ekaterinburg, UGGU, 2017, pp. 334-338. (In Russian)

9. Reshetnikova O.S., Mitusov A.A. Influence of parameters of a shock-acting hydraulic motor on hydraulic losses. In: *Sb. докладов VI Mezhdunar. nauch. simp. «Udarno-vibracionnyye sistemy i mashiny dlya stroitel'noj i gornoj otrasley»* [Proc. of the VI Int. Scientific Symposium]. Orel, OGU im. I.S. Turgeneva, 2017, pp. 161-164. (In Russian)

10. Yuriev D.A., Gorin A.V., Gorina M. A. The impact of the hydraulic hammer on the basic machine. In: *Sb. докладов VI Mezhdunar. nauch. simp. «Udarno-vibracionnyye sistemy i mashiny dlya stroitel'noj i gornoj otrasley»* [Proceedings of the VI Int. Scientific Symposium]. Orel, OGU im. I.S. Turgeneva, 2017, pp. 136-143. (In Russian)

11. Mitusov A.A., Reshetnikova O.S. Analysis of parameters and designs of modern hydraulic hammers. *Trudy universiteta*, 2015, No. 1, pp. 32-35. (In Russian)

