

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ГИДРОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА ОБЪЕМНОГО ТИПА

Вадим Валерьевич Плохих

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, младший научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, тел. (913)389-01-74, e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Борис Борисович Данилов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, главный научный сотрудник, и.о. зав. отделом горной и строительной геотехники, тел. (383)205-30-30, доб. 119, e-mail: bbdanilov@mail.ru

Дмитрий Олегович Чецин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, тел. (923)198-81-81, e-mail: dimixch@mail.ru

Представлены подходы к обоснованию конструктивных схем гидроударных машин объемного типа. Построены имитационные модели гидроударных систем и проведено их исследование. Установлено, что схема с промежуточной камерой позволяет снизить пиковое давление в камере холостого хода в два раза, по сравнению со схемой без промежуточной камеры. Сделан вывод, что в гидроударной машине с упругим клапаном и промежуточной камерой в конце рабочего хода мала вероятность снижения скорости ударной части.

Ключевые слова: проходка скважин, породный массив, гидроударник, упругий клапан, рабочий цикл.

JUSTIFICATION OF PRINCIPAL DIAGRAM AND STUDY OF THE OPERATING CYCLE OF VOLUMETRIC HYDROPERCUSSIVE MECHANISM

Vadim V. Plokhikh

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Junior Researcher of Mining and Construction GeoEquipment Department, phone: (913)389-01-74, e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Boris B. Danilov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Chief Researcher, Acting head of Mining and Construction GeoEquipment Department, phone: (383)205-30-30, extension 119, e-mail: bbdanilov@mail.ru

Dmitriy O. Cheshchin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Researcher of Mining and Construction GeoEquipment Department, phone: (923)198-81-81, e-mail: dimixch@mail.ru

The approaches to justification of design diagrams of volumetric hydropercussive machines are presented. Simulation models of hydraulic impact systems are constructed and investigated. It is

found that the diagram with an intermediate chamber allows decreasing peak pressure in the idle stroke chamber by two times, compared with the diagram without an intermediate chamber. It is concluded that hydropercussive machine with an elastic valve and intermediate chamber would hardly decrease the velocity of striking part in the end of power stroke.

Key words: hole drilling, rock mass, hydraulic hammer, elastic valve, operating cycle.

Введение

Бестраншейные способы прокладки подземных коммуникаций играют важную роль в строительстве современных городов. Наибольшее распространение в виброударных технологиях проходки скважин в грунте получили пневматические устройства ударного действия. Они обладают конструктивной простотой, надежностью, возможностью эксплуатации в неблагоприятных условиях.

Гидравлические ударные машины, по сравнению с пневматическими, более сложны в технологическом отношении. Тем не менее, преимущества гидропривода по сравнению с пневмоприводом значительны. К ним необходимо отнести большие резервы повышения ударной мощности, увеличение КПД машины. Также создаются широкие возможности для автоматизации режима работы в зависимости от свойств породного массива [1-2].

Гидроударные машины объемного типа находят применение в различных отраслях промышленности. За рубежом и в нашей стране в области промышленности и гражданского строительства получили распространение навесные ударные рабочие органы для разрушения различных материалов, трамбования грунтов, забивки шпунта, свай, и других операций. В горной промышленности гидроударные машины применяются в установках для дробления горных пород, в качестве отбойных рабочих органов проходческих машин, в бурильных машинах погружного и выносного типа. Актуальной проблемой при создании таких машин является разработка простых конструктивных решений, позволяющих обеспечить беспрепятственный слив рабочей жидкости из передней камеры при высокой предударной скорости бойка в конце рабочего хода. Это обстоятельство имеет первоочередное значение для улучшения динамики рабочего цикла, поскольку рабочая жидкость несжимаема и недостаточная скорость слива приводит к торможению ударника [3-4].

Эффективным решением данной проблемы является создание гидравлических ударных устройств на основе применения упругого запорно-регулирующего элемента, с изменяемой структурой ударной мощности, с отдельным распределительным механизмом. Для этого необходимо разработать принципиальную схему такого механизма и провести исследование имитационной модели.

Исследования

В ИГД СО РАН разработан вариант принципиальной конструктивной схемы гидравлического ударного устройства объемного типа для проходки горизонтальных скважин в породных массивах, которая представлена на рис. 1.

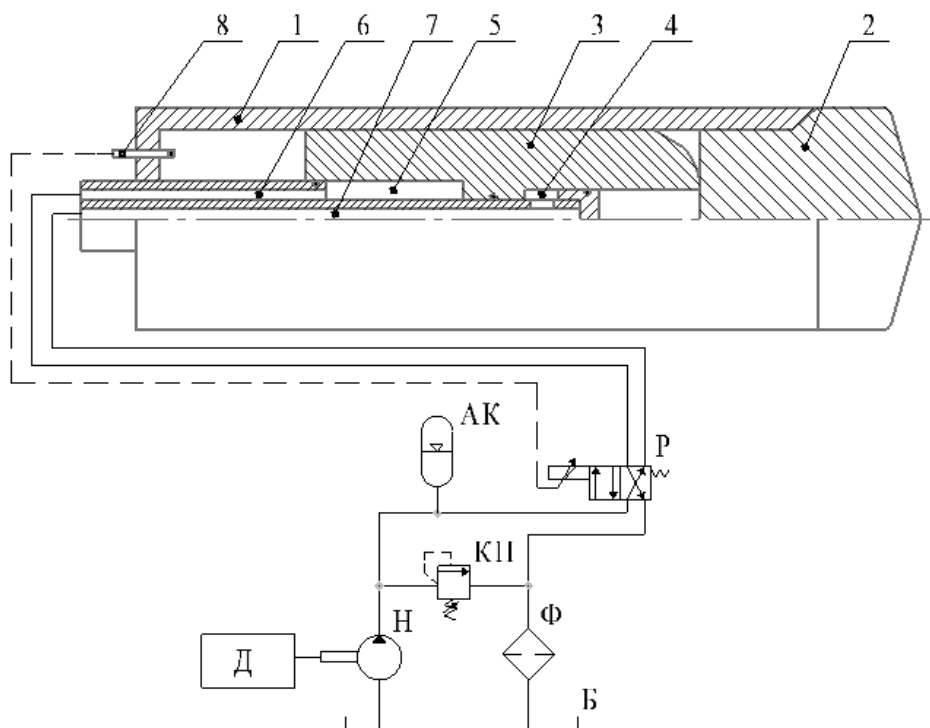


Рис. 1. Конструктивная схема гидроударного устройства

1 – корпус; 2 – наковальня; 3 – ударник; 4 – камера холостого хода ударника; 5 – камера рабочего хода ударника; 6 – наружный канал; 7 – внутренний канал; 8 – датчик

Гидромолот состоит из корпуса 1 с установленной внутри него наковальней 2 и ударника 3. Наружный 6 и внутренний 7 каналы осуществляют подвод энергоносителя в рабочие камеры гидромолота. Ударник изображен в положении удара. Подача жидкости в рабочие камеры осуществляется гидрораспределителем Р. Подача команд распределителю осуществляется системой управления, состоящей из блока питания, схемы управления (на схеме не показаны) и датчика 8.

Рабочая жидкость от насоса Н через распределитель поступает во внутренний канал 7 и попадает в камеру холостого хода ударника 4. Ударник 3 движется назад. Происходит слив масла из камеры рабочего хода 5 через наружный канал 6, далее через распределитель и фильтр Ф в бак Б. Когда задняя часть ударника попадает в зону действия датчика 8, сигнал идет на соленоид распределителя – происходит переключение золотника в другую позицию. Рабочая жидкость от насоса через распределитель поступает в наружный канал 6 и попадает в камеру рабочего хода 5, при этом происходит слив жидкости из камеры холостого хода 4 через внутренний канал 7, далее через распределитель и фильтр Ф в бак Б. После покидания ударником зоны действия датчика сигнал снимается с соленоида распределителя – золотник под действием возвратной пружины переходит в обратную позицию. Далее цикл повторяется.

Достоинством схемы является наличие гидравлического распределительного устройства, находящегося вне конструкции гидроударной машины, что значительно упрощает ее конструкцию. Также появляется возможность изменения структуры ударной мощности (энергии и частоты ударов), а следовательно, и возможности адаптации режимов импульсного воздействия к свойствам обрабатываемой среды.

Для исследования рабочего цикла гидроударной системы была построена имитационная модель в программе ITI SimulationX, в которую заложены основные параметры машины: площадь ударника со стороны камер прямого и обратного хода, рабочий ход ударника, масса ударника, проходные сечения каналов, моменты открытия и закрытия каналов. Расчетная схема, выполненная в программе, представлена на рис. 2.

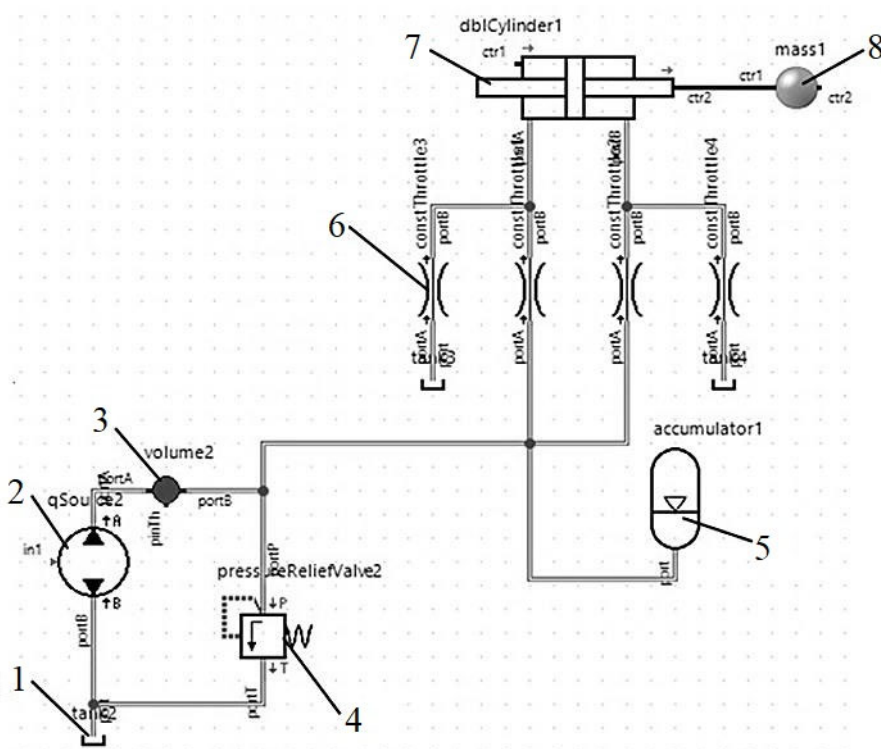


Рис. 2. Расчетная схема в программе ITI SimulationX

1 – бак; 2 – источник постоянного расхода (насос); 3 – камера постоянного объема; 4 – предохранительный клапан; 5 – гидропневмоаккумулятор; 6 – дроссели, задающие моменты открытия и закрытия клапанов; 7 – гидроцилиндр (гидромолот); 8 – масса ударника

Исследования были проведены при оптимальных значениях конструктивных и энергетических параметров: производительности насосной станции $Q_n = 80$ л/мин; номинальном давлении в напорной магистрали $p_n = 11,5$ МПа; частоте ударов $\nu = 6,5$ Гц; площади камеры прямого хода $S_2 = 8,84$ см²; площади камеры обратного хода $S_3 = 4,44$ см²; рабочем ходе ударника $X = 186$ мм;

скорости соударения $v_c = 4$ м/с; массе ударника $m_{уд} = 230$ кг и внутреннем диаметре корпуса $D_k = 210$ мм.

По результатам исследования построен график зависимости давления в камере холостого хода от рабочего хода ударника $P_{х.х.} = f(X)$, представленный на рис. 3. Начало координат показывает положение ударника в начале рабочего хода.

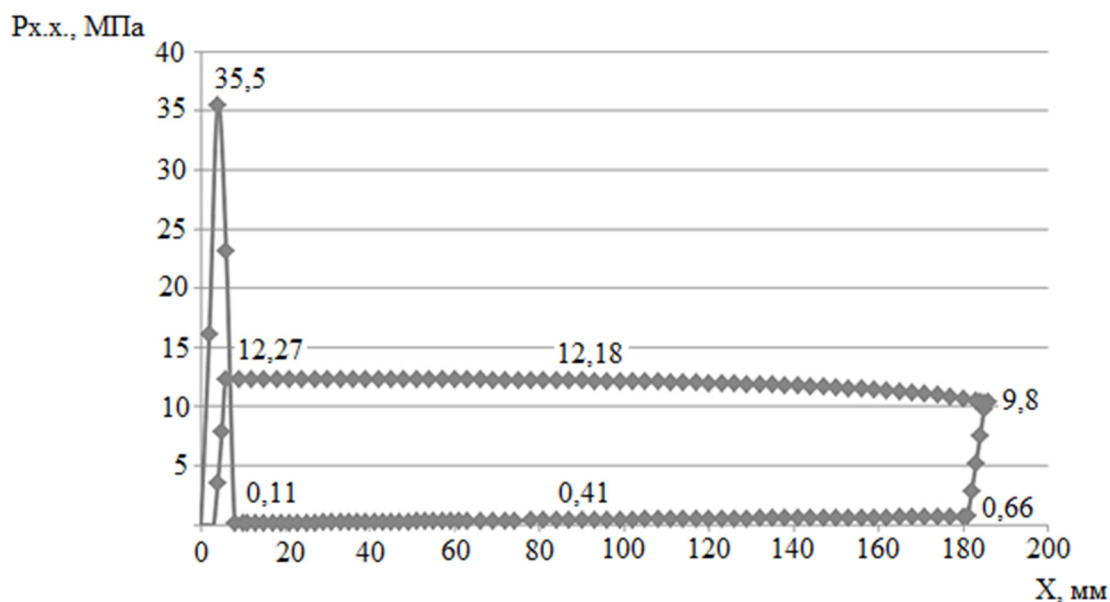


Рис. 3. График давления в камере холостого хода

Из графика видно, что в конце рабочего хода происходит резкое повышение давления в камере холостого хода до значения $P_{х.х.} = 9,8$ МПа. Данное обстоятельство позволяет полагать, что рабочая жидкость в конце рабочего хода не успевает сливаться из передней камеры, что приводит к торможению ударника, а следовательно, и к снижению предударной скорости.

С учетом этого, в ИГД СО РАН разработана новая принципиальная конструктивная схема гидроударного механизма, с изменяемой структурой ударной мощности, с отдельным распределительным механизмом, представленная на рис. 4 [5-8].

Гидроударный механизм состоит из корпуса 1 с установленной внутри него наковальней 2, ударника 3 и шлицевой гильзой 8 на которой установлен упругий клапан 7. Канал 9 осуществляет подвод сжатого воздуха от компрессора КМ в камеру рабочего хода 6. Ударник изображен в положении удара. Подача жидкости в камеру холостого хода 5 осуществляется гидрораспределителем Р. Подача команд распределителю осуществляется системой управления, состоящей из блока питания, схемы управления (на схеме не показаны) и датчика 10.

Ударник, находясь в положении удара, механически замыкает клапанную щель между клапаном и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 1,

тем самым разобцая промежуточную и холостую камеры ударника. Рабочая жидкость от насоса Н через распределитель поступает в камеру холостого хода ударника 5. Ударник 3 движется назад. Эластичный клапан при этом находится в упруго-деформированном (растянутом) состоянии. Происходит сжатие воздуха в камере рабочего хода ударника 6. Когда задняя часть ударника попадает в зону действия датчика 10, сигнал идет на соленоид распределителя – происходит переключение золотника в другую позицию. Падение давления в камере холостого хода приводит к уменьшению деформирующего усилия, и упругий клапан переходит в свободное (открытое) состояние, тем самым открывая кольцевой зазор, по которому при движении ударника вперед происходит в максимальной степени свободный перепуск рабочей жидкости из камеры холостого хода в промежуточную камеру равного объема. При холостом ходе ударника в следующем цикле происходит слив ранее перепущенной рабочей жидкости из промежуточной камеры 4 через обратный клапан КО в бак Б.

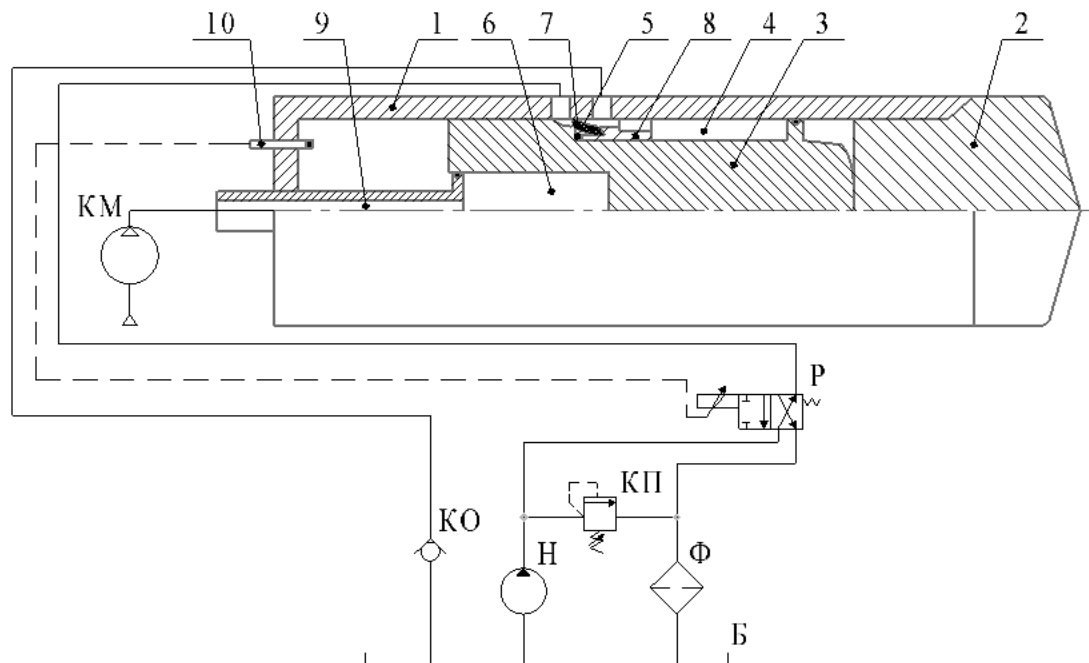


Рис. 4. Конструктивная схема гидроударного механизма

1 – корпус; 2 – наковальня; 3 – ударник; 4 – промежуточная камера ударника; 5 – камера холостого хода ударника; 6 – камера рабочего хода ударника; 7 – упругий клапан; 8 – шлицевая гильза; 9 – канал подвода воздуха; 10 – датчик

Преимуществами схемы являются: наличие вынесенного распределительного устройства, расположенного вне конструкции ударного устройства, возможность изменения структуры ударной мощности в зависимости от свойств породного массива, а также появление в конструкции ударника промежуточной камеры, которая позволяет снизить давление в камере холостого хода в конце рабочего цикла.

Для исследования динамики рабочего цикла гидроударной системы была построена расчетная схема в программе ITI SimulationX, изображенная на рис. 5.

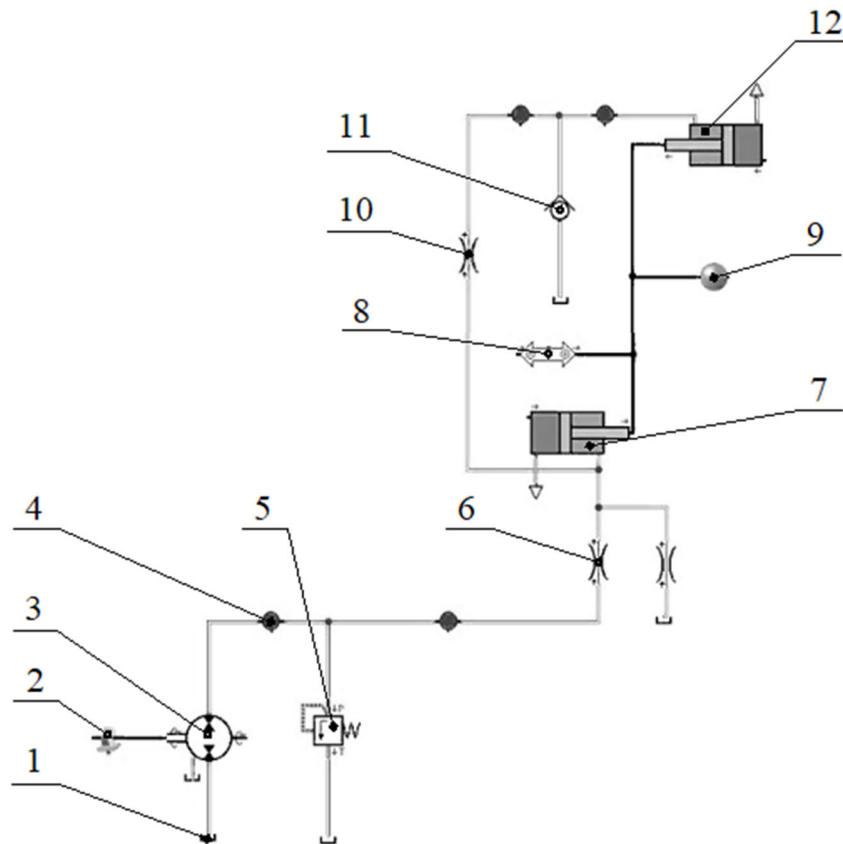


Рис. 5. Расчетная схема гидроударного механизма в программе ITI SimulationX:

1 – бак; 2 – источник постоянной частоты вращения; 3 – насос; 4 – камера постоянного объема; 5 – предохранительный клапан; 6 – дроссели, задающие моменты открытия и закрытия каналов; 7 – камера холостого хода ударника; 8 – внешняя сила; 9 – масса ударника; 10 – дроссель, задающий момент открытия и закрытия канала; 11 – обратный клапан; 12 – промежуточная камера ударника

Исследования были проведены при следующих конструктивных и энергетических параметрах: производительности насосной станции $Q_n = 60$ л/мин; номинальном давлении в напорной магистрали $p_n = 12,5$ МПа; частоте ударов $\nu = 10,6$ Гц; силы, приложенной со стороны камеры прямого хода $F = 2890$ Н; площади камеры обратного хода $S_3 = 14,47$ см²; рабочем ходе ударника $X = 88$ мм; скорости соударения $v_c = 4$ м/с; массе ударника $m_{уд} = 32$ кг и внутреннем диаметре корпуса $D_k = 115$ мм.

Результаты исследования приведены в виде графика зависимости давления в камере холостого хода от рабочего хода ударника $P_{х.х.} = f(X)$, который представлен на рис. 6. Начало координат соответствует положению ударника в начале рабочего хода.

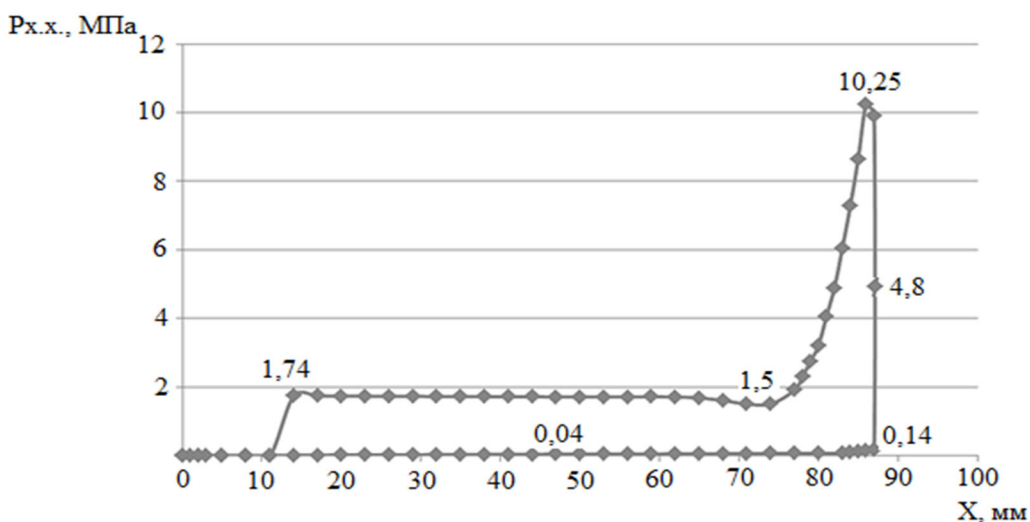


Рис. 6. График давления в камере холостого хода гидроударного механизма с промежуточной камерой

Обсуждение

Из графика давления, приведенного на рис. 6 видно, что в конце рабочего хода происходит повышение давления до значения $P_{x.x.} = 4,8$ МПа, что в два раза меньше, чем при исследовании рабочего цикла проведенного на имитационной модели представленной на рис. 2.

Таким образом с большой долей вероятности можно предполагать, что схема изображенная на рис. 4 полностью решает проблему беспрепятственного слива рабочей жидкости из передней камеры при высокой предударной скорости бойка в конце рабочего хода, тем самым улучшая динамику рабочего цикла гидроударного механизма.

Заключение

Обоснована перспективность применения принципиальной конструктивной схемы на основе применения упругого запорно-регулирующего элемента, с изменяемой структурой ударной мощности, с отдельным распределительным механизмом, имеющей промежуточную камеру, позволяющую снизить давление в камере холостого хода в предударном положении ударника.

Полученные результаты могут стать основой для проектирования гидроударного устройства с изменяемой структурой ударной мощности и расширенной возможностью адаптации режима импульсного энергетического воздействия к свойствам обрабатываемой среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов Б.Б. Теория и практика создания оборудования для бурения в грунте горизонтальных скважин с пневмотранспортом разрушенного материала по вращающемуся трубопроводу: Дис. докт. техн. наук (05.05.04). – Новосибирск, 2009. – 258 с.

2. Архипенко, А. П., Федулов А.И. Гидравлические ударные машины. – Новосибирск: Ин-т горного дела СО АН СССР, 1991. – 106 с.
3. Галдин Н. С., Бедрина Е. А. Ковши активного действия на основе гидроударников для экскаваторов: Учеб. пособие / М-во образования Рос. Федерации. Сиб. гос. автомоб.-дорож. акад. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003.
4. Галдин Н. С. Многоцелевые гидроударные рабочие органы дорожно-строительных машин. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. – 223 с.
5. Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Плохих В. В. Обоснование применения кольцевого упругого клапана с кинематическим замыканием в гидроударных механизмах объемного типа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 6. – С. 21–28.
6. Плохих В.В. Результаты экспериментального исследования процесса механического замыкания упругого клапана в гидроударной машине // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск, СибАДИ, 2019. – С. 27–31.
7. Плохих В. В., Чещин Д. О. Результаты физического моделирования рабочего процесса кольцевого упругого клапана в реверсивном гидроприводе // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М. : ИПКОН РАН, 2019. – С. 184–187.
8. Плохих В. В., Чещин Д. О. Обоснование схемы ударного механизма с гидравлическим взводом // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М. : ИПКОН РАН, 2019. – С. 177–180.

© В. В. Плохих, Б. Б. Данилов, Д. О. Чещин, 2020