

РАЗРАБОТКА И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕВЕРСИВНОГО ГИДРОУДАРНОГО УСТРОЙСТВА

Леонид Владимирович Городилов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, доктор технических наук, заведующий лабораторией, тел. (383) 205-30-30 доб. 118, e-mail: gor@misd.ru

Виталий Геннадьевич Кудрявцев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, научный сотрудник, тел. (383) 205-30-30 доб. 155, e-mail: vit22@mail.ru

Алексей Игоревич Першин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, инженер, тел. (383) 205-30-30 доб. 155, e-mail: a.ig.pershin@gmail.com

В работе представлена физическая модель реверсивного гидроударного устройства одностороннего действия (с двумя ограничителями движения бойка). В результате проведенных изысканий разработаны конструкция устройства и стенд для ее испытаний, моделирующей сопротивление среды при возможном движении корпуса. Проведены испытания гидроударного устройства с жестко заделанным корпусом показали его работоспособность и вход в полученные в расчетах режимы работы: боек при изменении расхода жидкости совершает удары как в прямом, так и в обратном направлении.

Ключевые слова: реверсивное гидроударное устройство, ограничители движения бойка, трение, расход, частота, предупредительная скорость

DEVELOPMENT AND BENCH TESTS OF A PHYSICAL MODEL OF REVERSIBLE HYDRAULIC IMPACT DEVICE

Leonid V. Gorodilov

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, office: +7(383)205-30-30, ext. 118, e-mail: gor@misd.ru

Vitaly G. Kudryavtsev

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Researcher, office: +7 (383)205-30-30, ext. 155, e-mail: vit22@mail.ru

Alexey I. Pershin

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Engineer, office: +7 (383) 205-30-30 ext. 155, e-mail: a.ig.pershin@gmail.com

The paper presents a physical model of reversible one-way hydraulic impact device (with two striker movement limiters). The researches helped to develop the design of the device and a test bench

simulating the resistance of the medium in case of possible body movement. Tests of a hydraulic impact device with a rigidly sealed body showed its efficiency in the operating modes obtained in the calculations: when changing the flow rate of the liquid, the striker strikes both in the forward and reverse directions.

Keywords: reversible hydraulic impact device, striker movement limiters, friction, flow rate, frequency, pre-impact speed

Введение

Одной из проблем, возникающих при бурении и использовании в уже пробуренных скважинах специального оборудования, является его заклинивание во время проведения технологических операций [1][2][3][4]. В [5] для решения этой проблемы предлагается использовать гидроударное устройства одностороннего действия с двумя ограничителями движения бойка, которое в зависимости от подаваемого к нему расхода может совершать удары как в прямом, так и в обратном направлениях. Присоединение такого устройства к технологическому оборудованию позволит преодолевать заклинивание также в обоих направлениях, что облегчает решение поставленной задачи.

Численное исследование на модели с заданными параметрами [6] и в общем виде в широком диапазоне входных параметров [7] позволило установить основные свойства устройства с двумя ограничителями движения бойка, его способность в одном конструктивном исполнении только за счет изменения подачи жидкости реализовать режимы с ударами в прямом или обратном направлениях.

Следующим этапом исследования является разработка и испытания физической модели такого устройства. В последнее время работы в области разработки новых физических моделей гидроударных устройств работы активизировались, создаются модели как с традиционной позиционной системой управления рабочим циклом, так и как с системами управления, основанными на новых принципах, создаются устройства с независимым регулированием частоты и энергии удара, в том числе адаптированным к условиям обрабатываемой среды [8][9][10][11][12][13][14]. В настоящей работе представлена процедура выбора и обоснования конструкции физической модели реверсивного гидроударного устройства, а также начальные результаты его стендовых испытаний.

Выбор и обоснование конструкции

К техническим устройствам, работающим в скважине, предъявляются особые требования, связанные с геометрией проходимой выработки и необходимостью компоновки их элементов в цилиндрическом корпусе, диаметр которого ограничен диаметром скважины. С учетом необходимости размещения в теле машины каналов подвода и отвода потоков рабочей жидкости, создание конструкции для работы непосредственно в скважине является непростой задачей. Так же в этом случае возникают определенные сложности и в регистрации динамических характеристик рабочих циклов, что необходимо по условиям проекта и при доводке конструкции и параметров устройства.

С учетом вышеуказанных причин на начальном этапе при создании физической модели не ставилось задачи создания устройства, способного работать в скважине или в грунте. Основное назначение разработанной модели должно заключаться в проверке работоспособности реверсивного ГУ, получении на ней обнаруженных при теоретических исследованиях режимов работы, сравнении полученных экспериментальных и теоретических результатов и верификации разработанной нами имитационной модели.

Поэтому была выбрана конструкция ГУ с подводными и управляющими каналами, выведенными за пределы цилиндрической поверхности, ограничивающей боковые стенки устройства. Это удобно с точки зрения: 1) создания макета устройства, 2) сборки и разборки при испытаниях; 3) регистрации динамических характеристик и визуального наблюдения за работой устройства; 4) удешевления изготовления деталей устройства.

На рис. 1 представлен разрез разработанный нами физической модели ГУ, в таблице 1 – параметры его основных элементов. Физическая модель устройства состояла из соединенных резьбовыми соединениями цилиндрических кожухов 1, 13, 5, 10, 17, внутрь которых с небольшим зазором или натягом устанавливались гильзы ударного узла 6, распределителя 11, аккумулятора 15, 16 и наковальни 2, 14, в свою очередь в гильзы 6 и 11 устанавливали соответственно боек 7 и золотник 12. Подача жидкости от источника к ударному устройству производили через внешние штуцеры, соединение распределителя и ударного узла производили также через штуцеры и металлические трубки. Наковальни были посажены на конусы в крайние левую и правую части кожуха. По оси устройства предусмотрено сквозное отверстие, которое в конструкции, предназначенной для работы в скважине, может быть использовано для подачи и отвода рабочей жидкости.

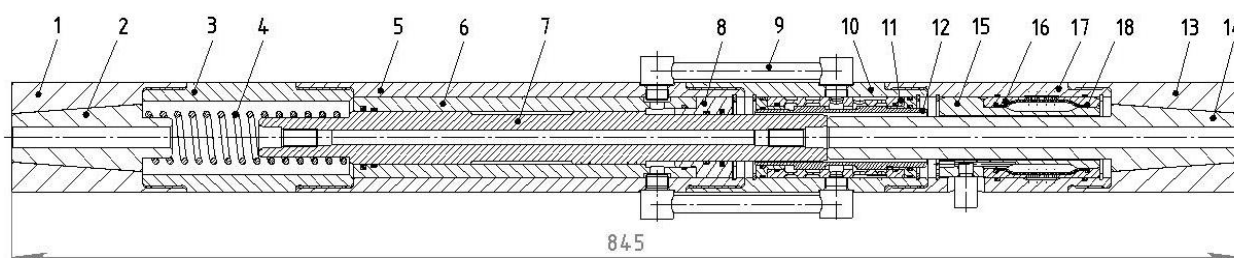


Рис. 1. Разрез сборки реверсивного ГУ:

1, 13, 5, 10, 17 – кожухи наковален, ударного узла, распределителя, аккумулятора; 3 – вставка; 2, 14 – наковальни; 4 – пружина; 6, 7, 8 – гильза, боек и втулка-подшипник ударного узла; 9 – трубки, соединяющие распределитель с гидравлической камерой ударного узла; 11, 12 – гильза ударного узла со втулками, золотник; 15, 16, 18 – внутренняя, внешняя гильзы, мембрана газожидкостного аккумулятора

Основные параметры реверсивного ГУ

Наименование	Значение
Масса бойка m , кг	2.2
Площадь поверхности бойка со стороны гидравлической камеры SA, см ²	2.14
Положение бойка, при котором происходит соединение канала управления распределителя со сливной линией $x[1]$, мм	39.0
Положение бойка, при котором происходит соединение канала управления распределителя с напорной линией $x[2]$, мм	21.0
Расстояние между ограничителями, мм	60
Объем газа в напорном аккумуляторе V_0 , см ³	35.0
Давление зарядки аккумулятора p_0 , МПа	2.0
Диаметры сечений каналов в ГУ, мм	10.0
Диаметры РВД, соединяющих маслостанцию с ударным устройством, мм	12.0
Ход золотника распределителя, мм	6.0

Методики экспериментальных исследований

Кожухи 1, 13 устройства (рисунок 1) крепили в специальных обоймах с зажимами 3, 4 (рисунок 2а), обоймы в свою очередь болтами крепили к швеллеру, жестко связанному с металлическим столом 1, прикрепленным к основанию из бетона массой ~10 Т. В зажимах крепили кожух ГУ 5 в местах установки наковален.

Методика экспериментальных исследований, регистрации динамических и статических характеристик системы подробно описана в работе [15]. Отметим, что в опытах была задействована маслостанция с насосом НШ14, приводом которой служит электродвигатель мощностью 5.9 кВт, и регулятором расхода МПГ55-12. Регулятор позволял изменять подачу насоса в диапазоне 2 – 32 л/мин, предохранительный клапан маслостанции настроен на максимальное давление 11 МПа.

Для регистрации динамических характеристик использовали датчики давления Honeywell AP121DN и Kistler 6001 с классом точности 0.3, Honeywell MLH03 с классом точности 2, датчик перемещения EDS-150 фирм «Microepsilon» и расходомер DV04.7 с классом точности 0.3, для обработки сигналов – согласующее устройство, аналого-цифровой преобразователь Е-440 и персональный компьютер с программой PowerGraph 3.

Общая схема эксперимента показана на рисунке 2б. Сигналы от датчиков через согласующее устройство СУ поступали на аналого-цифровой преобразователь АЦП (L-Card Е-440) и передавались на персональный компьютер ПК с установленной программой обработки экспериментальных данных PowerGraph 3.3.

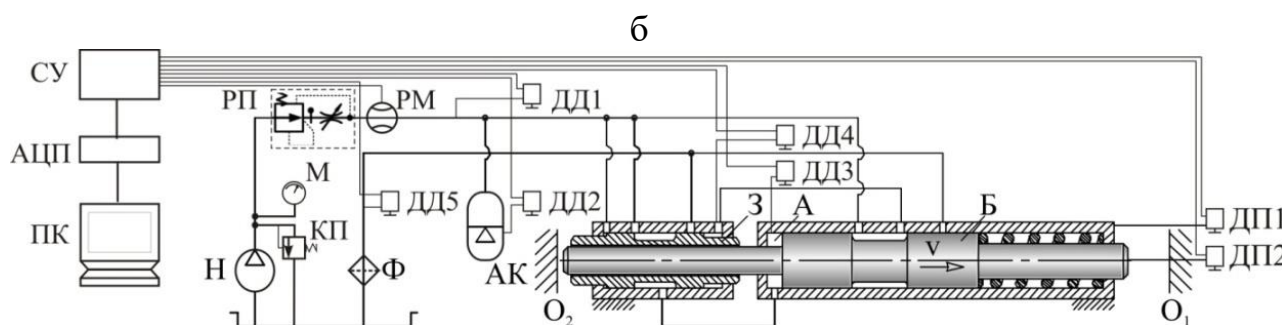
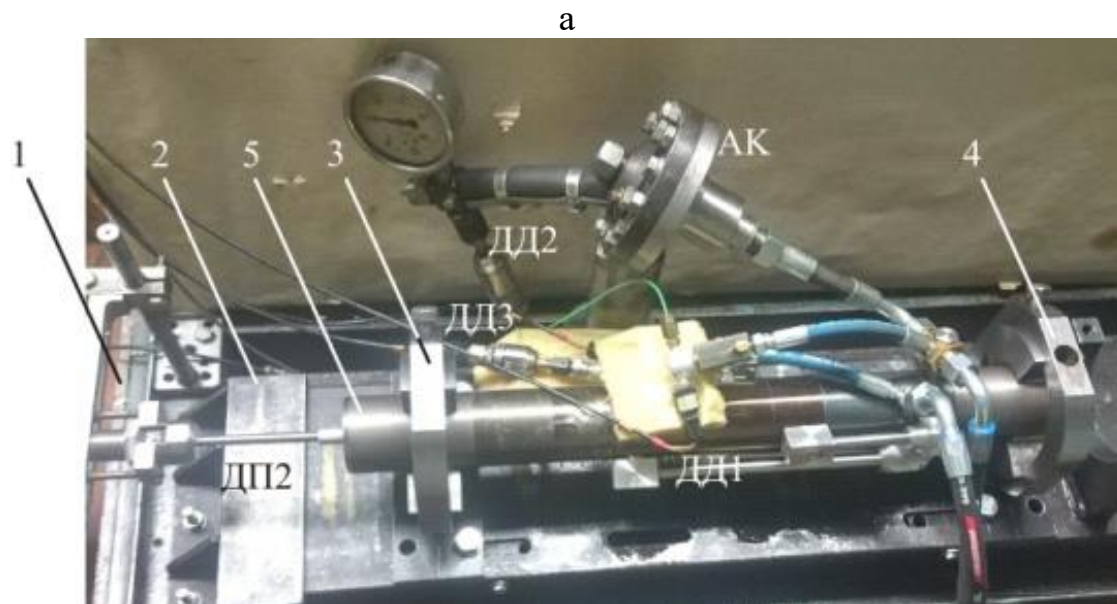


Рис. 2. Фотография устройства (а) и схема эксперимента (б):

Б – боек; 3 – золотник; АК – аккумулятор; РП – регулятор потока; КП – предохранительный клапан; Н – насос; О₁, О₂ – наковальни; СУ – согласующее устройство; АЦП – аналого-цифровой преобразователь L-Card E-440; ПК – персональный компьютер; М – манометр; ДП₁, ДП₂ – датчики перемещения RIDS-100; ДД₁ – ДД₅ – датчики давления Honeywell серии ML; РМ – расходомер

Результаты испытаний

Испытания реверсивного гидроударного устройства были проведены при неподвижном кожухе (он жестко закреплялся в обоймах). На рисунке 3 представлен характерный скриншот экрана компьютера с полученными в программе Power-Graph 3 осциллограммами.

На рисунках 4а-в представлены экспериментальные осциллограммы динамических характеристик физической модели ГУ при изменении расхода жидкости, подаваемого к ГУ от $q = 8.8$ до 16.1 л/мин, в таблице 2 – результаты обработки полученных осциллограмм – характеристики ее рабочих циклов.

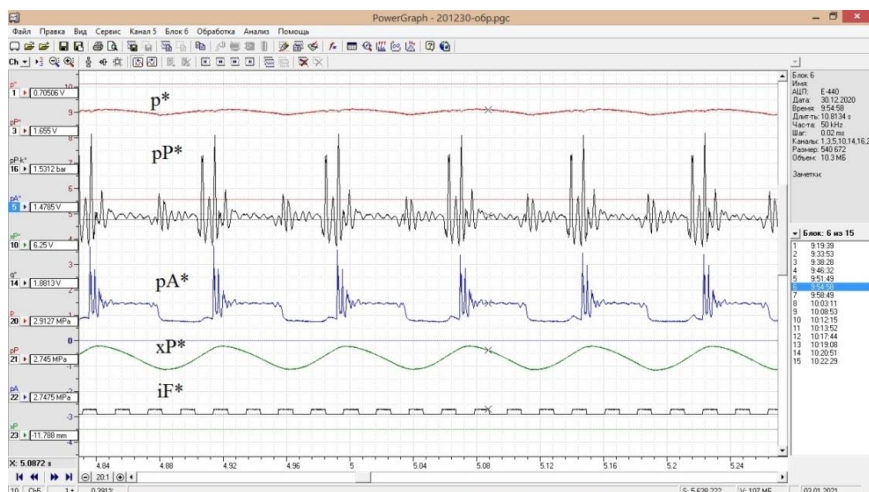


Рис. 3. Осциллограммы регистрируемых в программе PowerGraph 3.3 сигналов: p^* , pP^* и pA^* – соответственно давления в аккумуляторе, напорной линии и гидравлической камере ударного узла, xP^* – перемещение бойка; iF^* – импульсы расходомера

Представленные осциллограммы демонстрируют одноударные режимы в прямом (рисунок 4а) и обратном (рисунок 4в) направлениях и переходной режим (рисунок 4б). В переходном режиме (в расчетах всегда – это двухударный цикл) боек при работе не касался наковален, не доходя до них 5-10 мм. Объяснение этого может быть в высоком трении в паре «бойк-гильза» гидроударного устройства и сравнительно больших утечках в элементах гидроударного устройства. При включении насоса устройство стабильно запускалось, однако при небольших расходах давление в начальный момент поднималась выше устанавливающегося затем среднего уровня. При работе в установившихся режимах координаты бойка, при которых происходило переключение золотника распределительного устройства (определялось по давлению в гидравлической камере ударного узла), могли отличаться на 15-20% от цикла к циклу. Эти эффекты также могут быть объяснены достаточно высоким трением в трущихся парах подвижных элементах распределителя и ударного узла, наблюдавшемся уже в процессе сборки устройства.

Таблица 2

Характеристики рабочих циклов физической модели реверсивного ГУ

Расход q , л/мин	Среднее давление в аккумуляторе p , МПа	Частота f , Гц	Пред-ударная скорость v_{I+}	Максимальная скорость v_{max+}	Пред-ударная скорость v_{I-}	Минимальная скорость v_{min-}
8.8	2.9	13.9	0.9	1.4	—	-1.3
12.5	4.0	15.0	—	1.9	—	-1.8
16.1	6.8	20.0	—	1.7	-1.8	-3.1

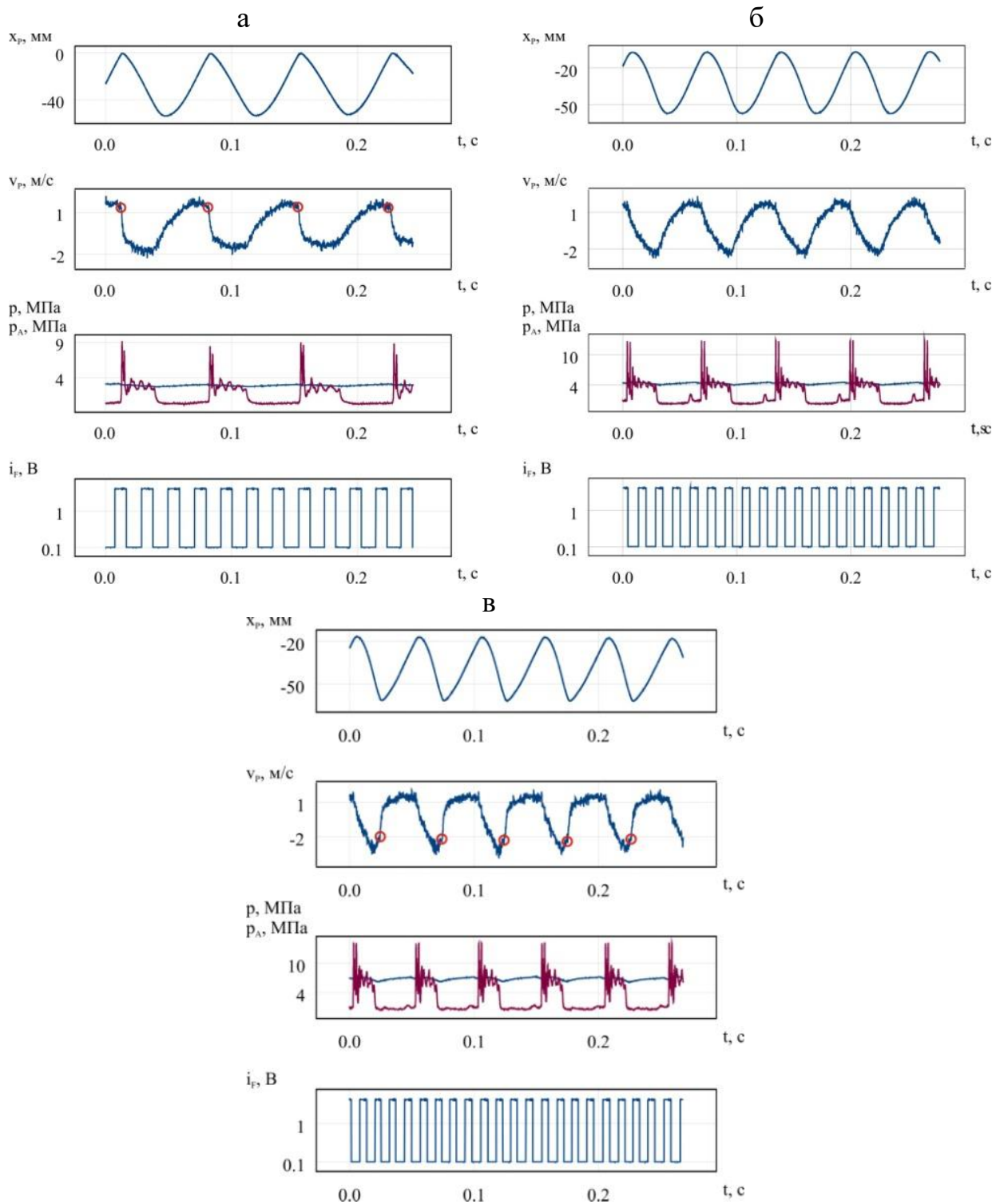


Рис. 4. Экспериментальные осциллограммы динамических характеристик реверсивного гидроударного устройства при расходе жидкости, подаваемый к ГУ $q = 8.8$ л/мин (а), $q = 12.5$ л/мин (б), $q = 16.1$ л/мин (в): x_p и v_p – соответственно координата и скорость бойка, p и p_Δ – соответственно давления в аккумуляторе (синяя линия) и в гидравлической камере ударного узла (красная линия), i_F – импульсы расходомера, кружками \circ на графиках скорости обозначены моменты соударения бойка с ограничителями

Таким образом, несмотря на выявленные недостатки, испытания физической модели показали ее пригодность для экспериментальных исследований рабочих циклов реверсивного ГУ, а также определили основное направление доводки устройства: это выявление причин высокого трения, оснащение уплотняющих элементов подвижных пар устройства материалами с низким трением.

Заключение

Разработана физическая модель реверсивного гидроударного устройства и стенд для его испытаний и экспериментальных исследований, позволяющий осуществлять фиксацию корпуса устройства с различной силой.

В результате испытаний физической модели установлена ее работоспособность, устройство входит в установившиеся режимы с ударами (при разном расходе насоса) в прямом и обратном направлении.

Высокое трение и утечки не позволили получить промежуточный двухударный режим, устройство входило в автоколебательный цикл с возвратно-поступательным движением без ударов. Устранение указанных недостатков позволит продолжить исследование особенностей его рабочих циклов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-08-00721)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леконцев Ю.М., Сажин П.В. Технология направленного гидроразрыва пород для управления труднообрушающимися кровлями в очистных забоях и дегазации угольных пластов // ФТПРПИ. 2014. № 5. Р. 137–142.
2. Леконцев, Ю.М., Сажин П.В. Способ дегазации угольного пласта: pat. 2480589 USA.
3. Манжосов, В. К., Новиков Д.А. Моделирование переходных процессов и предельных циклов движения виброударных систем с разрывными характеристиками. УлГТУ. Ульяновск, 2015. 236 р.
4. Калининченко, О. И., Комарь П.Л. Перспективы создания ударных механизмов для ликвидации прихватов при бурении геологоразведочных скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. 2012. № 12. Р. 44–49.
5. Городилов Л.В., Сажин П.В. Патент № 27003029 РФ. Устройство для поинтервального гидроразрыва прочных горных пород. БИ № 29 от 15 октября 2019. РФ, 2019.
6. Gorodilov L. Analysis of self-oscillating single-acting hydro-impact system operational modes with two limiters of striker movement // Int J Fluid Power. 2019. № 20_2. Р. 209–224.
7. Городилов Л.В. Исследование основных свойств гидроударной системы одностороннего действия с двумя ограничителями движения бойка // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 6. Р. 105–115.
8. Guoping Y., Yubao C. The Research of New Type Hydraulic Breaker with Strike Energy and Frequency of Adjusted // Mech Eng Res. 2012. Vol. 2, № 2. Р. 45–51.
9. Yang G., Chen L., Huang H. The research of a full hydraulic pressure hydraulic impactor with strike energy and frequency adjusted independently // Proceedings of the 6th International

Conference on Fluid Power Transmission and Control, ICFP 2005. International Academic Publishers, 2005. P. 262–265.

10. Xu Z., Yang G. Modeling and Simulation of Hydraulic Hammer for Sleeve Valve // Engineering. 2016. Vol. 08, № 09. P. 657–668.

11. Liu W. et al. Simulation study on the control valve in hydraulic operating mechanism of the high voltage circuit breaker // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings. 2009.

12. Xu Z. et al. Dynamic Performance Analysis of Gas-Liquid United Hydraulic Hammer // Engineering. 2015. Vol. 07, № 08. P. 499–505.

13. Yang G.P. Research of a Full Hydraulic Pressure Hydraulic Impactor with Strike Energy and Frequency Adjusted Independently // J Hunan Univ Sci Technol (Natural Sci Ed. 2006. Vol. 21, № 1. P. 25–28.

14. Cao Z.Y., Huang X.Y., Wu W.R. Mechanism Study on the Impact of Low Pressure Accumulator with Mechanical Mechanics to Hydraulic Impactor // Adv Mater Res. 2014. Vol. 908. P. 296–300.

15. Городилов Л.В., Кудрявцев В.Г., Пашина О.А. Стенд и методика экспериментальных исследований гидроударных систем // ФТПРПИ. 2011. № 6. P. 67–76.

© Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев, А. И. Першин, 2021