

## **ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

*Азимов А.М., Жуков И.А.*

*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** гидравлическая машина ударного действия, гидромолот, удар, ударный узел, импульс, геометрия ударного узла.

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена систематизации и анализу гидравлических импульсных машин с точки зрения проблемы их совершенствования на основе эффекта влияния геометрии ударных узлов. Актуальность обусловлена возможностью повышения эффективности ударных процессов за счет рационализации формы соударяющихся элементов без изменения других параметров системы. Представлены избранные запатентованные технические решения конструкций гидромолотов с указанием их уникальности и целей разработки. По результатам оценки известных решений по проблеме исследования установлены основные подходы, применяемые при совершенствовании гидравлических машин ударного действия. Анализ результатов патентного поиска и литературных источников позволил сформулировать новые научные задачи, решение которых обеспечит реализацию возможности рационального проектирования гидромолотов с учетом эффекта влияния геометрических параметров их ударных узлов.

## **REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING TECHNICAL SOLUTIONS OF HYDRAULIC IMPACT DEVICES AND FORMULATION OF PROBLEMS OF ITS IMPROVEMENT**

*Azimov A.M., Zhukov I.A.*

*Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg*

**Keywords:** hydraulic impact machine, hydraulic hammer, impact, impact unit, impulse, geometry of the impact unit.

**Abstract.** This article is devoted to the systematization and analysis of hydraulic pulse machines from the point of view of the problem of their improvement based on the effect of the geometry of impact units. The relevance is due to the possibility of increasing the efficiency of impact processes by rationalizing the shape of colliding elements without changing other parameters of the system. Selected patented technical solutions of hydraulic hammer designs are presented indicating their uniqueness and development goals. Based on the results of the evaluation of known solutions to the research problem, the main approaches used in the improvement of hydraulic impact machines have been established. The analysis of the results of the patent search and literature sources allowed us to formulate new scientific problems, the solution of which will ensure the realization of the possibility of rational design of hydraulic hammers, taking into account the effect of the geometric parameters of their impact nodes.

### **Введение**

Добыча и разведка месторождений полезных ископаемых, применяемых, в частности, в качестве строительных материалов, в некоторых районах как Российской Федерации, так и других стран ведется открытым способом путем разрушения породы буровзрывным методом. При этом дальнейшая отработка массива ведется с применением гидравлических ударных устройств, предназначенных для дробления негабарита [1-3].

Машины и механизмы ударного действия обладают особой уникальностью, т.к. при относительно малых габаритах и затрачиваемой энергии они позволяют создавать ударную нагрузку, измеряемую десятками тонн. Существует несколько видов ударных машин: механические, пневматические [4, 5], электрические, гидравлические [6-8] и комбинированные, применяемые, например, в горном деле для разрушения пород при добыче полезных ископаемых, в строительной отрасли при изготовлении набивных свай и разрушении негабаритов, бетонных блоков и конструкций, в металлургии [9] для откалывания керамических покрытий доменных печей иковки металла, при демонтаже

дорожных покрытий и прокладке скважин [10-12], труб и кабелей, в пробивке твердых грунтов в забое [13] и извлечении керна.

Для обозначенных в начале статьи работ в горном деле широко применяются гидравлические импульсные системы (гидромолоты), которые в сравнении с пневматическими машинами обладают определенными преимуществами: отсутствует необходимость в переносном компрессоре или в обеспечении стационарной разводки для снабжения сжатым воздухом, обеспечивается более высокая энергия единичного удара и сокращается уровень шума. Как правило, гидромолот используется в качестве сменного рабочего оборудования экскаваторов [14, 15], применяемых для обработки или разрушения различных твердых тел, путем нанесения ударов по инструменту поршень-бойком, разгоняемым жидкостью. Принципиальная упрощенная схема гидромолота приведена на рисунке 1.

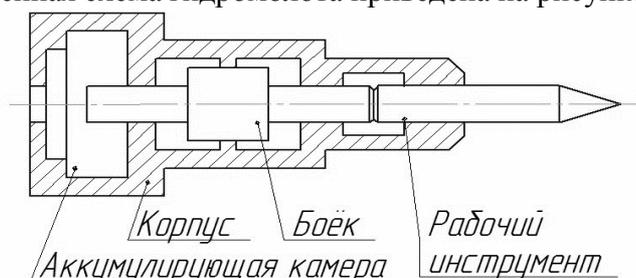


Рис. 1. Типовая модель и принципиальная схема гидромолота

подавляющее большинство Российских предприятий в технологических процессах применяют гидромолоты, которые обладают большим количеством недостатков, более того 90% Российского рынка занимают импортные гидравлические ударные машины [16-18]. Но, несмотря на то, что импортные машины отличаются сравнительно высокой производительностью, надежностью и высоким классом экологичности, ввиду малой степени изученности проблемы влияния геометрии ударных узлов машин на их производительность, а также надежность и отдачу, целесообразно предположить недостаточную эффективность современных гидромолотов в целом.

Производительность гидромолота, его эффективность, многозадачность, долговечность и надежность, как характеристики выполняемых ударов зависят от конструктивных параметров машины и её приводной системы [19, 20]. Как ресурс рабочего сменного инструмента зависит от его геометрических и физических характеристик, так и стоимость машины зависит от её размеров и материалов [21-23].

Для анализа современных подходов, применяемых при исследовании гидромолотов, а также для оценки существующих конструктивных решений, их достоинств и недостатков необходимо систематизировать сведения об известных патентах на гидравлические устройства.

### **Анализ известных технических решений**

Типовая конструкция гидравлического молота (рис. 2) состоит из ударного узла и блока управления. Ударный узел включает в себя корпус, в котором по направляющим втулкам возвратно-поступательно движется поршень-бойок. Перемещение бойка приводит к попеременному открытию-закрытию каналов, связывающих ударный узел с блоком управления (гидроаккумулятором). Поршень-бойок под действием давления жидкости, подаваемой от внешней насосной установки, движется с ускорением в направлении рабочего инструмента и наносит удар по его торцу. В момент удара энергия, накопленная бойком при разгоне, формирует в инструменте импульс упругой деформации, который передается через пику разрушаемому объекту.

Обратимся к избранным результатам патентного поиска (табл. 1) конструкций гидравлических импульсных систем и анализу подходов к их разработке с целью обобщения принципиальных путей совершенствования, связанных с обоснованием рациональных или оптимальных геометрических параметров элементов их ударных узлов.

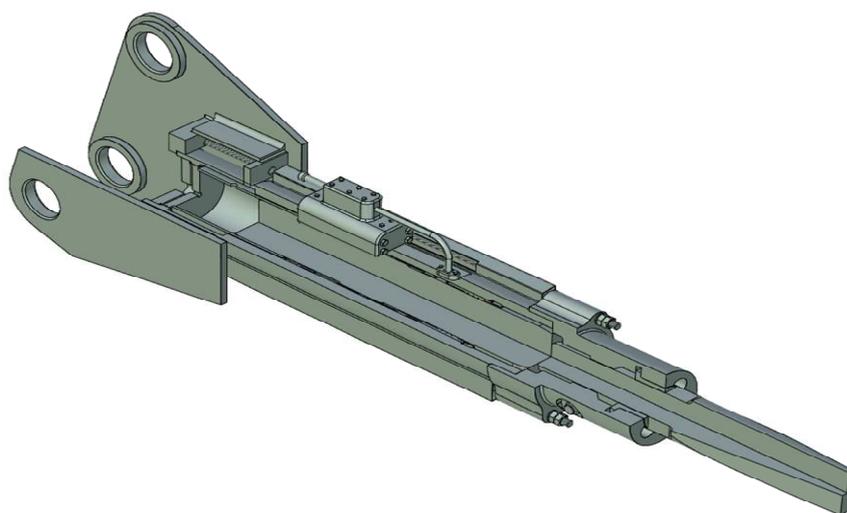
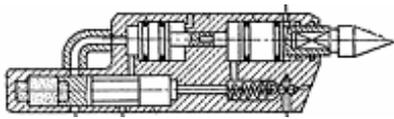
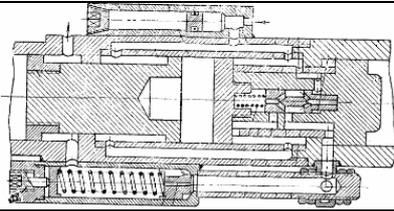
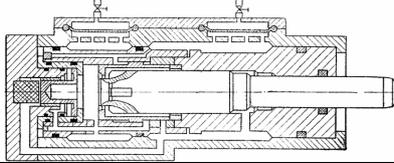
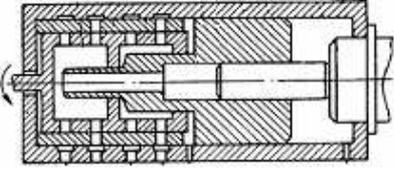
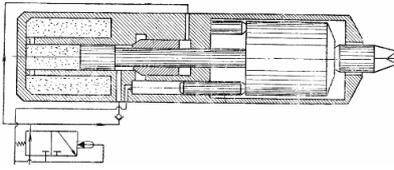
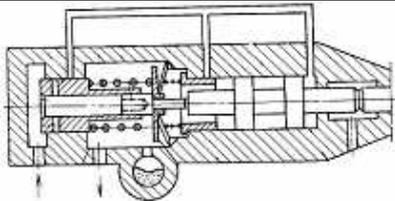
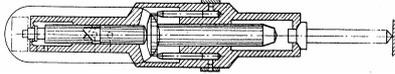
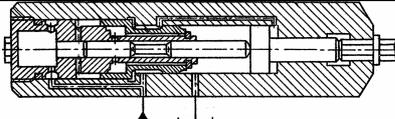
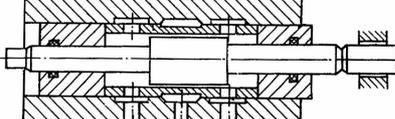
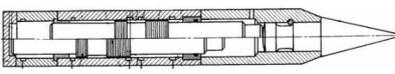
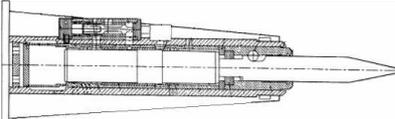
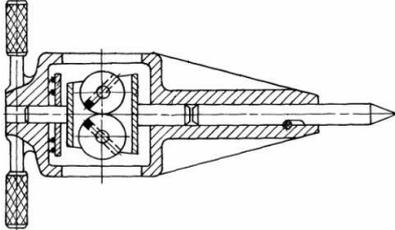
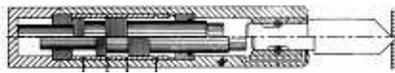
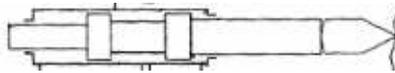
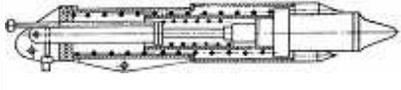
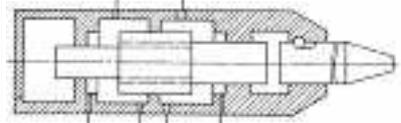
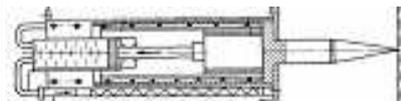
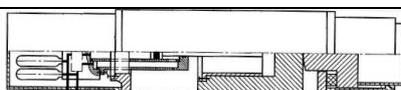
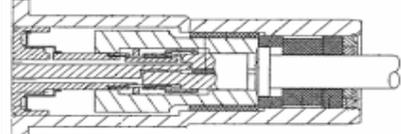
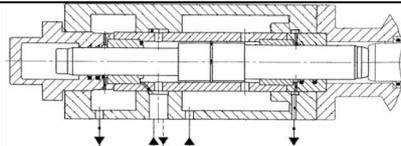
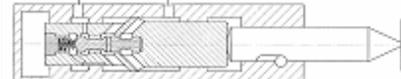
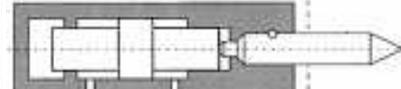
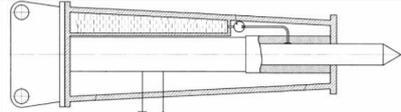
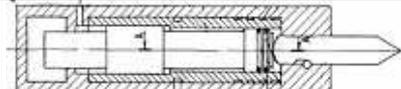
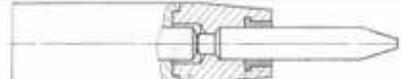


Рис. 2. Типовая модель гидромолота (разработано авторами)

Табл. 1. Избранные результаты патентного поиска

| № | Название, номер патента или авторского свидетельства | Авторы   | Даты приоритета; опубликования | Схема   |
|---|--|--|--------------------------------|---|
| 1 | Исполнительный орган струга, №420774                 | Кичигин А.Ф.,<br>Лазуткин А.Г.,<br>Атаманов В.Ф.,<br>Крупник В.С.,<br>Игнатов С.Н.,<br>Бабкин В.Ф.                               | 20.01.1969;<br>25.03.1974.     |   |
| 2 | Гидравлическое ударное устройство, №361866           | Кичигин А.Ф.,<br>Ешуткин Д.Н.,<br>Кретов Б.П.,<br>Гольцов Г.А.,<br>Смирнов Ю.М.  | 16.11.1970;<br>13.12.1972.     |  |
| 3 | Гидравлический молоток, №348723                      | Чугунов В.Д.,<br>Игнатъев В.М.,<br>Борисенко Л.П.,<br>Григорьев В.К.   | 02.11.1971;<br>23.08.1972.     |  |
| 4 | Гидравлическое ударное устройство, №466322           | Лазуткин А.Г.,<br>Щепеткин Г.В.,<br>Павлов А.С.,<br>Эпов Г.К.,<br>Лурье И.Ф.,<br>Оноцкий М.И.,<br>Румянцев Р.А.                  | 26.04.1972;<br>05.04.1975.     |  |
| 5 | Гидродвигатель ударного действия, №443209            | Лазуткин А.Г.,<br>Колено В.В.,<br>Щепеткин Г.В.,<br>Митусов А.А.,<br>Ушаков Л.С.,<br>Хамидулин Ф.Ф.,<br>Нижник И.В.,<br>Пак А.Ф. | 02.01.1973;<br>15.09.1974.     |  |

|    |  |  |                            |   |
|----|--|--|----------------------------|---|
| 6  | Гидравлический ударный механизм, №537803 | Белов В.С.,<br>Доценко В.Ф.,<br>Зверев М.Ф.,<br>Александров Е.В.,<br>Соколинский В.Б.  | 27.05.1975;<br>05.12.1976. |    |
| 7  | Гидравлический молоток, №679728          | Борисенко Л.П.,<br>Кудряков М.Н.,<br>Попов Г.Г.,<br>Рашкеев Н.А.,<br>Семикозов В.Ф.,<br>Страмнов В.С.,<br>Черноусов А.В.,<br>Чугунов В.Д.,<br>Шварцер Р.Х.                       | 07.04.1977;<br>15.08.1979. |    |
| 8  | Гидроударное устройство, №1221338        | Пивень Г.Г.,<br>Кобылянский В.Л.   | 25.09.1984;<br>30.03.1986. |    |
| 9  | Устройство ударного действия, №1293328   | Колесаев М.Б.  | 01.10.1985;<br>28.02.1987. |    |
| 10 | Гидромолот, №2010917                     | Комаров В.М.,<br>Дмитревич Ю.В.,<br>Кадошкин В.В.,<br>Френкель Б.Е.,<br>Гречушкин Б.А.,<br>Овчинников Н.П.,<br>Арефьев Ю.П.,<br>Кострубин Ю.Г.,<br>Беликов А.П.,<br>Тихонов Ю.Н. | 08.07.1992;<br>15.04.1994  |  |
| 11 | Гидромолот №6579                         | Акулов А.П.,<br>Кившар В.Я.,<br>Костин Ю.Ю.  | 12.09.1997;<br>16.05.1998. |  |
| 12 | Гидромолот, №2142037                     | Комаров С.С.,<br>Комаров А.С.  | 10.03.1998;<br>27.11.1999. |  |
| 13 | Гидромолот, №17051                       | Дмитревич Ю.В.,<br>Мушкатеров А.В.,<br>Сериков В.В.,<br>Серопян Г.В.   | 17.10.2000;<br>10.03.2001. |  |
| 14 | Гидромолот, №2209879                     | Кувшинов В.А.  | 10.04.2001;<br>10.08.2003. |  |
| 15 | Гидравлическая ударная машина, №2230189  | Голдобин В.А.,<br>Городилов Л.В.,<br>Пашина О.А.   | 05.11.2002;<br>10.06.2004. |  |

|    |  |                                 |                            |   |
|----|--|---------------------------------|----------------------------|---|
| 16 | Молот МАА для разрушения негабаритов горных пород, №2237808  | Мельников А.В.                  | 28.11.2002;<br>10.10.2004. |    |
| 17 | Устройство ударного действия, №2265721   | Гусельников М.М.                | 31.05.2004;<br>10.12.2005. |    |
| 18 | Способ взвода, разгона и нанесения удара снарядом и устройство для его осуществления при разрушении различных материалов, №2291298 | Мельников А.В.                  | 19.01.2005;<br>10.01.2007. |    |
| 19 | Гидромолот, №2333317   | Кувшинов В.А.,<br>Ермолаев В.М. | 01.02.2006;<br>10.09.2008. |    |
| 20 | Гидравлический отбойный молоток, №2449882  | Конечник Ш.                     | 08.07.2008;<br>10.05.2012. |    |
| 21 | Гидравлическое устройство ударного действия, №2580112  | Седлер И.К.                     | 12.11.2014;<br>10.04.2016. |   |
| 22 | Гидромолот, №2623159   | Кириллов К.Г.                   | 04.03.2016;<br>27.06.2017. |  |
| 23 | Гидромолот, №188777  | Кириллов К.Г.                   | 06.07.2017;<br>23.04.2019. |  |
| 24 | Гидромолот, №179050  | Кириллов К.Г.                   | 21.08.2017;<br>25.04.2018. |  |
| 25 | Гидромолот, №2695396   | Кириллов К.Г.                   | 06.09.2017;<br>23.07.2019. |  |
| 26 | Гидромолот, №190560  | Кириллов К.Г.                   | 14.12.2017;<br>03.07.2019. |  |
| 27 | Гидромолот, №210643  | Кириллов К.Г.                   | 05.11.2020;<br>25.04.2022. |  |

Системный и критический анализ представленных технических решений с точки зрения идей авторов позволил выявить основные подходы к решению проблемы повышения производительности гидромолотов, по которым можно группировать избранные результаты патентного поиска.

Так, основной целью разработки изобретений, представленных в таблице 1 под №№ 3, 6, 8, 9, 15, 21-26, является совершенствование системы гидрораспределения, а именно расширение арсенала технических средств гидромолотов, параметры которых обеспечивают

повышение эксплуатационных характеристик, надежный запуск и торможение поршня-бойка. В этот арсенал средств входят, например, эластичные элементы, установленные в рабочей камере гидромолота, которые стабилизируют рабочий процесс и гарантируют эффективный пуск молота; буферные устройства ограничения хода плунжера; золотник, выполненный с особой расточкой, позволяющей образовать управляющую гидравлическую камеру и др. Внедрение таких элементов в систему гидромолота обеспечивает в том числе перераспределение жидкости таким образом, что оказывает непосредственное положительное влияние на КПД устройства.

Одной из основных задач, решаемых в патентах под номерами 1, 5, 7, 12, 14, 18 (табл. 1), является создание или совершенствование системы регулировки параметров ударов, наносимых гидромолотами, их частоты, силы, скорости. Данный вопрос решался посредством внедрения механизмов, позволяющих осуществлять необходимые виды ударных нагрузок и управлять параметрами работы ударных машин, что выражается в снижении энергозатрат и расширения областей применения машины. Примерами подобных средств являются мультипликаторы давления, подпружиненные золотники и различные дроссельные отверстия.

Очередной наиболее часто решаемой задачей в анализируемых изобретениях является задача повышения надежности и ремонтпригодности гидромолотов. В этом направлении известными являются следующие решения – №№ 11, 13, 16, 17, 23-25, 27 в таблице 1. Сущность данных решений заключается в повышении износостойкости деталей машины, в их защите от механических повреждений путем монтажа различных защитных кожухов и втулок, в подборе и поддержании благоприятных режимов работы.

Среди представленных в таблице 1 изобретений и полезных моделей наименьшее количество разработок выполнено на основе эффекта влияния геометрии элементов ударных узлов.

Например, в гидроударном устройстве (№4, табл. 1) боёк выполнен с дифференциальным сквозным отверстием, в большей ступени которого располагается плунжер, образующий вместе с отверстием камеру холостого хода, что позволяет упростить конструкцию. При этом авторы не обосновывают, как такой вариант исполнения бойка повлияет на эффективность самого устройства. Почти аналогичная ситуация прослеживается в сущности изобретения, показанного под номером 10 в таблице 1, в котором с целью повышения надежности и ресурса гидромолота устанавливается соотношение длины поршня-бойка и расстояния от торцевой крышки корпуса до рабочего инструмента, что исключает вероятность удара бойка по самому корпусу, но не оказывает влияния на производительность. Одним из отличающихся среди представленных в таблице 1 является изобретение под номером 19, задачами разработки которого были максимально возможное уменьшение габаритной длины гидромолота, снижение себестоимости и повышение долговечности гидроцилиндра. С точки зрения геометрии ударной массы отличительным признаком этого устройства является центральное отверстие поршня, при этом необходимость его выполнения авторы никак не связывают с эффективностью ударного воздействия.

Следующим отличительным признаком анализируемых конструкций является проблема устранения импульса отдачи, т.е. отраженной ударной волны, которая носит разрушительный характер для самой машины, создавая дополнительную нагрузку на гидравлическую систему, привод, гидроаккумуляторную полость и на торцевую поверхность крышки, в результате чего происходит быстрая выработка ресурса оборудования или возникает поломка.

Согласно изобретению №2 (табл. 1) основным недостатком гидромолотов является большая величина усилия отдачи в период разгона поршня-бойка аккумулятором. И с целью снижения данного усилия переливная полость поршня-бойка была соединена со сливной магистралью, а напорные его полости были связаны между собой и с сетевым гидроаккумулятором, при постоянном поперечном сечении указанных полостей. Также в изобретении №20 (табл. 1) снижение отраженного импульса силы было одной из

сопутствующих целей при решении таких задач, как обеспечение осевой прочности рабочего инструмента или защита рабочей жидкости от перегрева.

### **Постановка новых задач исследования и совершенствования конструкций гидромолотов применяемых в горном деле**

Анализ известных конструктивных исполнений гидравлических машин и механизмов ударного действия позволил установить основные задачи в рамках проблемы совершенствования устройств такого типа, решение которых позволит повысить эффективность разрушения горных пород при дроблении негабарита.

*1. Анализ и обобщение исследований процесса взаимодействия рабочего инструмента гидромолота с породным массивом при ударном нагружении.*

Основным направлением совершенствования средств добычи и переработки твердых полезных ископаемых является разработка высокопроизводительных машин с учетом современных достижений науки и техники в области установления рациональных способов разрушения породного массива. Наиболее эффективных для разрушения горных пород высокой крепости является ударный способ воздействия. Решению вопросов, посвященных изучению механизма разрушения породы ударом, закономерностей дробления негабарита при импульсном нагружении, динамики процесса взаимодействия инструмента с породой посвящен ряд как классических работ Е.В. Александрова, О.Д. Алимова, Л.И. Барона, Л.Т. Дворникова, К.И. Иванова, М.Т. Мамасайдова, так и современных ученых [24–26].

Эффективность работ по разрушению негабаритов горных пород зависит от многих факторов: размеров, формы и структуры, крепости и твердости, абразивности материала негабарита, положения его в пространстве, энергии удара гидромолота, места его установки, геометрических параметров расположения рабочего инструмента относительно разрушаемого объекта. С этой точки зрения обобщение известных работ и построение математической модели, учитывающей взаимозависимость названных элементов технологического процесса дробления, позволит находить оптимальные способы и режимы импульсного воздействия, обеспечивающие наиболее выгодные по производительности, энергозатратам, запыленности и сортности условия.

*2. Выбор и обоснование геометрических параметров элементов ударного узла гидромолота, соответствующих оптимальному импульсному воздействию, согласованному с физико-механическими характеристиками разрушаемого объекта.*

Научно обоснованный подбор форм и размеров деталей гидравлических импульсных машин, обеспечивающих энергоэффективное отделение кусков горной породы от массива, должен быть основан на изучении процессов генерирования, распространения и реализации ударных импульсов в системе машины. Рассматриваемая ударная система должна содержать минимум три элемента – ударяющее тело (поршень-боек), рабочий инструмент (пика), разрушаемая среда. Сравнительный анализ не только приведенных в настоящей работе частных решений конструкций гидромолотов, но и всех запатентованных различными учеными и конструкторами гидравлических ударных устройств, свидетельствует о том, что лишь в некоторых из найденных разработок решалась задача повышения эффективности ударного процесса за счет рационализации геометрических параметров элементов ударного узла машины. При этом, как правило, оценивали энергию удара гидромолота лишь кинетической энергией бойка, запасенной перед его соударением с рабочим инструментом. Однако кинетическая энергия бойка в процессе прохождения через элементы ударной системы претерпевает потери, обусловленные целым рядом различных факторов, главным из которых является геометрия соударяющихся тел. Повышение производительности машин и механизмов ударного действия невозможно без учета особенностей динамических ударных процессов. Варьирование формы ударника оказывает прямое влияние на амплитуду и длительность импульса, изменение которых неизбежно происходит при распространении волны по инструменту гидромолота вследствие влияния его геометрических характеристик и внутренних сопротивлений материала. Очевидно, что влияние на производительность будет

оказывать и форма рабочей части инструмента, которой он непосредственно взаимодействует с разрушаемым объектом. Лишь при определенных сочетаниях геометрических параметров соударяющихся тел обеспечивается создание в системе ударного импульса, который бы соответствовал силам сопротивления породы внедрению инструмента. Таким образом, отыскание и обоснование форм и размеров элементов ударной системы гидромолота, позволит не только повысить КПД машины, но и обеспечит устранение или существенное уменьшение таких нежелательных явлений, сопровождающих работу по разрушению породы ударными воздействиями, как отраженная волна деформации, шум, вибрация, чрезмерное изнашивание.

*3. Отыскание и анализ технического решения конструктивного исполнения поршень-бойка гидромолота, беспрепятственно встраиваемого в его цилиндрический корпус, с обеспечением генерирования в рабочем инструменте ударного импульса, соответствующего силам сопротивления породы разрушению.*

Все показанные и найденные технические решения конструкций гидромолотов включают в себя элементы ударных узлов самой простой геометрической формы, цилиндрической, признанной в теории удара наименее эффективной. Тем не менее, несмотря на этот доказанный факт [27], в гидромолотах по сей день используются ударники, геометрия которых представляет собой ступенчатый цилиндрический цилиндр с малоотличающимися по величине диаметрами ступеней. Вполне очевидно, что встраивание в ударную систему гидромолота бойка с более сложной (например, криволинейной) образующей боковой поверхности ограничивается конструктивными особенностями и принципом работы машины. В этой связи вполне актуальными представляются попытки отыскания и обоснования конструктивных решений ударников [28], которые бы, обладая простой цилиндрической формой внешней боковой поверхности, обеспечивали ударный импульс, наиболее эффективно соответствующий свойствам разрушаемого объекта.

*4. Проведение экспериментальных исследований по подбору параметров соударяющихся элементов и режимов импульсного воздействия, обеспечивающих энергоэффективное дробление горных пород высокой крепости.*

Для получения качественной и количественной оценки новых технических решений элементов гидромолота, разрабатываемых с учетом эффекта влияния геометрических параметров их ударных узлов, естественно необходимо проведение серии физических экспериментов. Чтобы обеспечить стабильное разрушение негабаритов горных пород, необходимо определение соответствующих этому требованию эксплуатационных характеристик гидромолота, таких, как энергия удара, которая может быть установлена при изменении массы и предупредительной скорости поршень-бойка; место установки рабочего инструмента на разрушаемом объекте, а также направления воздействия. Названные параметры будут определяться в зависимости от геометрии соударяющихся тел, в том числе предлагаемых авторами.

### **Вывод**

Всё вышеизложенное позволяет заключить, что решение поставленных проблем обеспечит развитие теоретических основ исследования гидравлических импульсных систем, позволит разработать научно-практические подходы к рациональному проектированию их ударных узлов, а также найти новые технические решения, обеспечивающие повышение производительности работ, связанных с дроблением негабаритов горных пород.

### **Список литературы**

1. Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А. Гидравлические машины ударного действия. – М.: Машиностроение, 2000. – 416 с.
2. Трубин А.С. Современные тенденции развития гидравлических машин ударного действия // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – №2 (49). – С. 65-69.
3. Каманин Ю.Н., Ределин Р.А., Кравченко В.А. Моделирование разрушения скальных пород гидравлическим устройством ударного действия // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – №2(129). – С. 30-34.

4. Юнгмейстер Д.А., Исаев А.И., Ячейкин А.И., Соболева П.Д. Экспериментальные исследования погружного пневмоударника бурового станка // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №3. – С. 28-36. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-28-36.
5. Юнгмейстер Д.А., Гасымов Э.Э., Исаев А.И. Обоснование конструкции и параметров устройства для регулирования потока воздуха в погружных пневмоударниках станков шарошечного бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №6-2. – С. 251-267. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_251.
6. Серов А.А., Шабанова А.П., Савинков В.А. Гидромолоты особенности конструкции и перспективы развития // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – №1. – С. 176-179.
7. He J., Yin Q., Yin K. Study on the abrasion property of the anvil inside a hydraulic DTH hammer fitted with horizontal oriented sliders // Frattura ed Integrità Strutturale. 2017, vol. 11, no. 42, pp. 263-271.
8. Huang X., Hu G., Meng Q., Zheng X. Development Status of Hydraulic Hammers and Development Trends of Hydraulic Hammers Used in Oil and Gas Well Drilling // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2016, vol. 21, pp. 5453-5464.
9. Жуков И.А., Мартюшев Н.В., Зюкин Д.А., Азимов А.М., Карлина А.И. Модернизация гидромолотов, применяемых в условиях ремонта металлургических агрегатов // Металлург. – 2022. – №12. – С. 112-117. – DOI: 10.52351/00260827\_2022\_12\_112.
10. Литвиненко В.С., Двойников М.В. Методика определения параметров режима бурения наклонно прямолинейных участков скважины винтовыми забойными двигателями // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 105-112. –doi.org/10.31897/pmi.2020.1.105.
11. Zhang Xinxin, Zhang Shaohe, Luo Yongjiang, Dongyu Wu. Experimental study and analysis on a fluidic hammer—an innovative rotary-percussion drilling tool // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019, vol. 173, pp. 362-370.
12. Григорьев Б.С., Елисеев А.А., Погарская Т.А., Торопов Е.Е. Математическое моделирование дробления грунта и многофазного течения бурового раствора при бурении скважин // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 16-23. – DOI: 10.31897/PMI.2019.1.16.
13. Холмский А.В. К оценке скорости проходки подземных горных выработок с применением гидромолотов // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – №2(106). – С. 24-31.
14. Холодняков Г.А., Половинко А.В., Лигоцкий Д.Н. Схемы работы гидравлического экскаватора с подвесным гидромолотом в забое при первичной отбойке породы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №4. – С. 272-275.
15. Кызыров К.Б., Митусов А.А., Решетникова О.С. Проектировочные исследования параметров гидромолота для горной и строительной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №9. – С. 220-226. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-9-0-220-226.
16. Wang X. Modeling and experimental investigations on the drag reduction performance of an axial oscillation tool // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017, vol. 39, pp. 118-132.
17. Sinha A. Development of Architecture of Autonomous Hydraulic Rock Breaker for Limestone Mines // Proceedings of Geotechnical Challenges in Mining, Tunneling and Underground Infrastructures. – Springer, Singapore. 2022, pp. 683-695.
18. Ge D. Dynamic responses of a fluidic hammer with hydraulic-damping-device // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021, vol. 200. – 108243 p.
19. Болобов В. И., Плащинский В. А. Влияние продолжительности удара на эффективность разрушения горных пород и пластического деформирования металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №3. – С. 78-96. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_3\_0\_78.
20. Теплякова А.В., Азимов А.М., Алиева Л., Жуков И.А. Обзор и анализ технических решений для повышения долговечности и улучшения технологичности элементов ударных узлов бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №9. – С. 120-132. – doi.org/10.25018/0236\_1493\_2022\_9\_0\_120.
21. Bolobov V. I., Chupin S. A., Le-Thanh B. Modeling impact fracture of rock by hydraulic hammer pick with regard to its bluntness // Eurasian Mining. 2022, vol. 37(1), pp. 72-75. DOI: 10.17580/em.2022.01.15.
22. Болобов В.И., Ле Тхань Бинь. Закономерности разрушения материала ударника при повторяющихся единичных ударах // Записки Горного института. – 2018. – Т. 233. – С. 525-533. – DOI: 10.31897/PMI.2018.5.525.
23. Болобов В.И., Ле Т.Б., Чупин С.А., Плащинский В.А. Зависимость наработки пики гидромолота от износостойкости ее материала // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – №5. – С. 68-79. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-68-79.
24. Городилов Л.В., Кудрявцев В.Г. Анализ способов и схем управления характеристиками гидроударных машин объемного типа // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 1. – С. 59-73.
25. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Определение рациональных параметров исполнительных элементов ударной системы адаптивного ударного устройства // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 5. – С. 58-63.

26. Султаналиев Б.С., Еремьянц В.Э. К исследованию динамики горных и строительных машин с навесными молотами // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2022. – №17-2. – С. 221-229.
27. Жуков И.А., Смоляницкий Б.Н., Тимонин В.В. Повышение эффективности погружных пневмоударников на основе оптимизации формы соударяющихся деталей // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2018. – №2. – С. 37-42
28. Матвеева С.А., Жуков И.А., Азимов А.М. Определение приведенной формы ударников гидравлических импульсных систем // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. – 2022. – №10. – С. 41-44. – doi.org/10.26160/2541-8637-2022-10-41-44.

### References

1. Ushakov L.S., Kotylev Yu.E., Kravchenko V.A. Hydraulic impact machines. – М.: Mashinostroenie, 2000. – 416 p.
2. Trubin A.S. Modern trends in the development of hydraulic impact machines // *The world of transport and technological machines*. 2015, no. 2 (49), pp. 65-69.
3. Kamanin Yu.N., Redelin R.A., Kravchenko V.A. Modeling of rock destruction by a hydraulic impact device // *Mining equipment and electromechanics*. 2017, no. 2(129), pp. 30-34.
4. Jungmeister D.A., Isaev A.I., Yacheikin A.I., Soboleva P.D. Field study of DTH hammer operation with rock drilling machines // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3, pp. 28-36. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-28-36.
5. Jungmeister D.A., Gasimov E.E., Isaev A.I. Substantiation of the design and parameters of the device for regulating the air flow in down-the-hole hammers of roller-cone drilling rigs // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022; no. 6–2, pp. 251–267. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_251.
6. Serov A.A., Shabanova A.P., Savinkov V.A. Hydraulic hammers design features and development prospects // *High technologies in the construction complex*. 2019, no. 1, pp. 176-179.
7. He J., Yin Q., Yin K. Study on the abrasion property of the anvil inside a hydraulic DTH hammer fitted with horizontal oriented sliders // *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2017, vol. 11, no. 42, pp. 263-271.
8. Huang X., Hu G., Meng Q., Zheng X. Development Status of Hydraulic Hammers and Development Trends of Hydraulic Hammers Used in Oil and Gas Well Drilling // *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2016, vol. 21, pp. 5453-5464.
9. Zhukov I.A., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Azimov A.M., Karlina A.I. Modernization of hydraulic hammers used in the conditions of repair of metallurgical units // *Metallurg*. 2022, no. 12. pp. 112-117. DOI: 10.52351/00260827\_2022\_12\_112.
10. Litvinenko V.S., Dvoynikov M.V. Methodology for determining the parameters of drilling mode for directional straight sections of well using screw downhole motors // *Journal of Mining Institute*. 2020, vol. 241, pp. 105-112. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.105>.
11. Zhang Xinxin, Zhang Shaohu, Luo Yongjiang, Dongyu Wu. Experimental study and analysis on a fluidic hammer—an innovative rotary-percussion drilling tool // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019, vol. 173, pp. 362-370.
12. Grigoriev B.S., Eliseev A.A., Pogarskaya T.A., Toropov E.E. Mathematical modeling of rock crushing and multiphase flow of drilling fluid in well drilling // *Journal of mining institute*. 2019, vol. 235, pp. 16-23. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.1.16>.
13. Kholmisky A.V. To the assessment of the development rate of underground mining workings with the use of hydraulic breakers // *Mine surveying and Subsurface Use*. 2020, no. 2(106), pp. 24-31.
14. Holodnyakov G.A., Polovinko A.V., Ligotsky D.N. Schemes of working of hydraulic excavators with hydraulic hammer at the face of the primary breaking // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 4, pp. 272-275.
15. Kyzzyrov K.B., Mitusov A.A., Reshetnikova O.S. Design research of parameters of hydraulic hammer for mining and construction // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 9, pp. 220-226. DOI 10.25018/0236-1493-2018-9-0-220-226.
16. Wang X. Modeling and experimental investigations on the drag reduction performance of an axial oscillation tool // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017, vol. 39, pp. 118-132.
17. Sinha A. Development of Architecture of Autonomous Hydraulic Rock Breaker for Limestone Mines // *Proceedings of Geotechnical Challenges in Mining, Tunneling and Underground Infrastructures*. – Springer, Singapore. 2022, pp. 683-695.
18. Ge D. Dynamic responses of a fluidic hammer with hydraulic-damping-device // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021, vol. 200. – 108243 p.
19. Bolobov V.I., Plashchinsky V.A. Influence of impact duration on fracture efficiency in rocks and on plastic deformation of metals // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 78-96. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_3\_0\_78.
20. Teplyakova A.V., Azimov A.M., Alieva L., Zhukov I.A. Improvement of manufacturability and endurance of percussion drill assemblies: Review and analysis of engineering solutions // *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 9, pp. 120-132. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_9\_0\_120.

21. Bolobov V. I., Chupin S. A., Le-Thanh B. Modeling impact fracture of rock by hydraulic hammer pick with regard to its bluntness // Eurasian Mining. 2022, vol. 37(1), pp. 72-75. DOI: 10.17580/em.2022.01.15.
22. Bolobov V. I., Bin L. T. Regularities of material destruction of the impactor in repeated single punch // Journal of Mining Institute. 2018, vol. 233, pp. 525-533. <https://doi.org/10.31897/pmi.2018.5.525>.
23. Bolobov V.I., Le Thanh Binh, Chupin S.A., Plashchinsky V.A. Dependence of the lifelength of a hydraulic hammer pick on the wear resistance of its material // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020, no. 5, pp. 68-79. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-68-79.
24. Gorodilov L.V., Kudryavtsev V.G. Analysis of methods and schemes for controlling the characteristics of volumetric hydraulic impact machines // Physico-technical problems of mineral development. 2022, no. 1, pp. 59-73.
25. Lazutkin S.L., Lazutkina N.A. determination of rational parameters actuators adaptive shock system shock device // Modern high-tech technologies. 2019, no. 5, pp. 58-63.
26. Sultanaliev B.S., Eremyants V.E. To research the dynamics of mountain and construction machines with hammers // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 17-2, pp. 221-229.
27. Zhukov I.A., Smolyanitsky B.N., Timonin V.V. Improving the efficiency of submersible pneumatic hammers based on optimizing the shape of colliding parts // Physico-technical problems of mineral development. 2018, no. 2, pp. 37-42.
28. Matveeva S.A., Zhukov I.A., Azimov A.M. Determination of the reduced shape of the impactors of hydraulic pulse systems // Mechatronics, automation and robotics. 2022, no. 10, pp. 41-44. [doi.org/10.26160/2541-8637-2022-10-41-44](https://doi.org/10.26160/2541-8637-2022-10-41-44).

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

|  |  |
|--|--|
| <b>Азимов Амирхон Махмудалиевич</b> – аспирант   | <b>Azimov Amirkhon Makhmudalievich</b> – postgraduate student  |
| <b>Жуков Иван Алексеевич</b> – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения | <b>Zhukov Ivan Alekseevich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, head of the Department of mechanical engineering |
| amirkhon.azimov@yandex.ru  |  |

Получена 03.12.2022