



**ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА ОБЪЕМНОГО ТИПА**

**В. В. Плохих, Б. Б. Данилов, Д. О. Чешин**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: vadim.plohih@yandex.ru,  
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Выполнен анализ особенностей схем гидроударных машин. Сформулированы требования к гидрообъемным машинам, используемым в автоматизированных буровых комплексах при реализации адаптивных технологических процессов. Разработана конструктивная схема гидравлического ударного механизма с промежуточной сливной камерой и кольцевым упругим клапаном. Построена имитационная модель предложенной гидроударной системы и проведено исследование динамики рабочего цикла.

*Бестраншейные технологии, гидроударные машины, конструктивная схема, промежуточная камера, упругий клапан, рабочий цикл*

**JUSTIFICATION OF A PRINCIPAL DIAGRAM AND ANALYSIS OF OPERATING  
CYCLE DYNAMICS OF HYDROPERCUSSIVE VOLUMETRIC MECHANISM**

**V. V. Plokhikh, B. B. Danilov, and D. O. Cheshchin**

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
E-mail: vadim.plohih@yandex.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The features of the schemes of hydraulic impact machines are analyzed. The requirements for hydrostatic machines used in automated drilling systems in the implementation of adaptive engineering processes are formulated. A design of hydraulic impact mechanism with an intermediate drain chamber and annular elastic valve is developed. A simulation model of the proposed hydraulic impact system is constructed and dynamics of the operating cycle is studied.

*Trenchless technologies, hydraulic impact machines, design, intermediate chamber, elastic valve, operating cycle*

Бестраншейные технологии прокладки коммуникаций играют важную роль в подземном строительстве объектов промышленного и социального назначения в горно-добывающей промышленности и многих других отраслях народного хозяйства. Значительная часть технологических процессов при этом основана на ударном воздействии на породный массив. В качестве генераторов ударных импульсов чаще всего используются пневматические машины. Это обусловлено рядом их неоспоримых достоинств, главными из которых являются конструктивная простота и достаточно высокая надежность. Однако эти машины имеют весьма серьезный и практически неустранимый недостаток — низкий коэффициент полезного действия (КПД).

В мировой практике все чаще применяются гидравлические ударные машины, которые условно можно разделить на два типа: гидродинамические и гидрообъемные. Последние отличаются более высокими энергетическими показателями (КПД) и технологическими возможностями. Такие машины по сравнению с пневматическими более сложны в технологическом отношении и требуют высокой точности изготовления их деталей и узлов. К тому же, в процессе их эксплуатации необходим более тщательный подход к условиям ремонта, уровню

технического обслуживания, качеству рабочей жидкости. Однако преимущества гидропривода по сравнению с пневмоприводом значительны. К ним относят большие резервы повышения ударной мощности и увеличения КПД машины. Вдобавок расширяются возможности их использования в автоматизированных комплексах, где необходимо изменение режима работы в зависимости от свойств породного массива [1 – 3].

Гидроударные машины находят широкое применение в области промышленного и гражданского строительства. В России и за рубежом распространены навесные ударные рабочие органы, которые устанавливаются на базовые машины, такие как гидравлические экскаваторы или на специальные ходовые и стационарные устройства с манипуляторами для разрушения различных крепких материалов, строительных конструкций, мерзлых грунтов, дорожных одежд, забивки шпунта, свай и других операций. В горной промышленности гидравлические ударные машины применяются в установках для дробления негабаритов, в качестве отбойных рабочих органов проходческих машин, а также в бурильных машинах погружного и выносного типа [3, 4].

Примерами навесных ударных рабочих органов являются устройства типа ГПМ-120, ГПМ-200, СП-71. Схема, по которой выполнены эти машины, представлены на рис. 1. Эту схему можно считать комбинацией систем обратного и двойного действия, так как в начале торможения и на протяжении всего прямого хода непосредственная связь между бойком и упругим элементом (газом в поршневом аккумуляторе) разрывается.

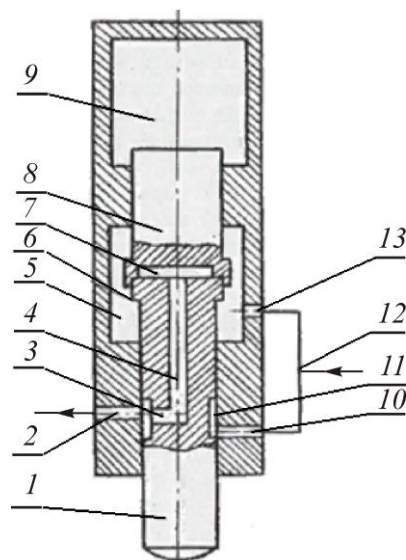


Рис. 1. Принципиальная схема ударного устройства с задержкой бойка в конце прямого хода: 1 — боек; 2 — сливной канал; 3 — радиальный канал; 4 — центральный канал; 5, 7 — камеры; 6 — уступ головки бойка; 8 — клапан; 9 — пневмоаккумулятор; 10, 13 — каналы подачи рабочей жидкости; 11 — проточка; 12 — напорная линия

Устройство состоит из бойка 1 с радиальным 3 и центральным каналами 4, клапана 8 и пневмоаккумулятора 9. Клапан 8 с головкой 6 бойка образуют камеру 7. Рабочая жидкость от насоса подается по каналам 10 и 13. При положении бойка, указанном на чертеже, канал 10 проточкой 11 соединяется со сливным каналом 2. Устройство не работает. При нажатии на инструмент канал 10 выходит из проточки 11 и разобщается со сливным каналом 2. Жидкость, поступающая в канал 13, действует на уступ головки 6 бойка. Поскольку торцевая площадь бойка 1 со стороны камеры 7 соединена со сливной магистралью, он вместе с клапаном 8 будут двигаться вверх, сжимая газ в аккумуляторе 9 (совершает обратный ход). Как только радиальный канал 3 в конце обратного хода соединится с камерой 5, давление в камере 7 повысится до магистрального. Боек отсоединится от клапана 8 и под действием давления жидкости начнет

совершать прямой ход. Клапан 8 движется вслед за бойком, компенсируя снижение давления в камере 5. Перед соударением бойка с инструментом напорная магистраль, а также камера 5 проточкой 11 соединяются со сливной линией 2. Давление в камере 5 падает и клапан 8 набегают на головку 6 бойка. Камера 7 изолируется от напорной магистрали и соединяется со сливной. Боек и клапан занимают исходное положение для начала обратного хода [2].

Недостатком подобных гидроударных машин затрудняющим их использование в составе автоматизированных буровых комплексов, реализующих адаптивные технологические процессы, является отсутствие технической возможности управления динамическими параметрами рабочего цикла и структурой ударной мощности. Эти параметры заданы расположением каналов и отверстий в корпусе и ударнике. Адаптивные технологические процессы основаны на достижении соответствия между свойствами обрабатываемой среды и параметрами энергетического воздействия на нее. Одним из путей решения такой задачи является применение в ударном устройстве системы управления, состоящей из отдельного распределительного устройства, управляемого датчиками положения ударника. Это позволяет изменять величину рабочего хода ударника, его скорость, энергию и частоту ударов при неизменных параметрах насоса или компрессора [5, 6].

Другая важная проблема, возникающая в таких гидравлических ударных механизмах, заключается в трудности беспрепятственного слива рабочей жидкости из взводящей камеры в конце рабочего хода, когда ударник достигает своей максимальной скорости. Неизбежное конструктивное ограничение сечения сливной магистрали является причиной повышения давления в этой камере и снижения скорости удара.

С учетом изложенных особенностей в ИГД СО РАН разработана конструктивная схема, имеющая промежуточную сливную камеру, отделенную от взводящей камеры упругим клапаном. Управление потоком энергоносителя осуществляется распределительным механизмом, который может быть расположен снаружи ударного механизма. Наличие промежуточной сливной камеры дает возможность снизить давление во взводящей камере (камере холостого хода) в конце рабочего цикла. Схема представлена на рис. 2.

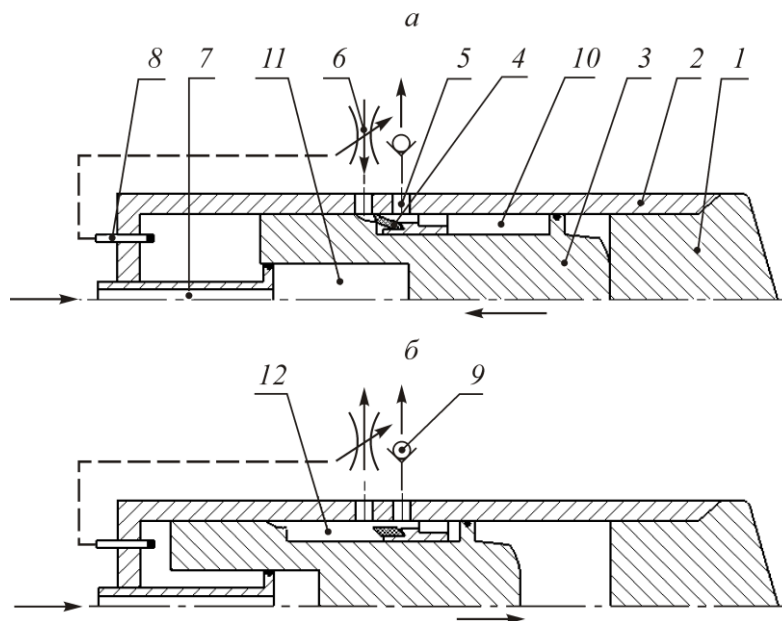


Рис. 2. Конструктивная схема гидроударного устройства с промежуточной камерой: 1 — накопитель; 2 — корпус; 3 — ударник; 4 — упругий клапан; 5 — сливное отверстие; 6 — золотник распределителя; 7 — канал подвода сжатого воздуха; 8 — датчик; 9 — обратный клапан; 10 — промежуточная камера ударника; 11 — камера рабочего хода ударника; 12 — камера холостого хода ударника

Устройство работает следующим образом. Ударник 3, который находится в положении удара (рис. 2а), механически замыкает клапанную щель между клапаном 4 и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 2, тем самым разобщая промежуточную 10 и холостую камеры 12 ударника. Рабочая жидкость от источника через золотник 6 поступает в камеру холостого хода ударника. Ударник движется назад. Упругий клапан 4 при этом прижат к корпусу 2 и находится в упруго-деформируемом (растянутом) состоянии. Происходит сжатие воздуха или какого-то другого упругого элемента в камере рабочего хода 11. Когда задняя часть ударника попадает в зону действия датчика 8, сигнал поступает на золотник 6, при этом происходит переключение золотника на слив (рис. 2б). Падение давления в камере холостого хода приводит к уменьшению деформирующего усилия, и клапан переходит в свободное (открытое) состояние, тем самым открывая кольцевой зазор, по которому при движении ударника в направлении удара осуществляется в максимальной степени свободный перепуск рабочей жидкости из камеры холостого хода в промежуточную камеру. При холостом ходе ударника в следующем цикле происходит слив ранее перепущенной жидкости из промежуточной камеры 10 через обратный клапан 9 на слив. Обратный клапан предназначен для предотвращения возможного всасывания рабочей жидкости из сливной линии в промежуточную камеру при рабочем ходе ударника. Сигнал от датчика 8 может передаваться на золотник 6 с заданной задержкой во времени, изменяя тем самым величину рабочего хода ударника.

Для исследования динамики рабочего цикла гидроударной машины с промежуточной камерой построена имитационная модель в программе IPI SimulationX. Расчетная схема, составленная в программе, приведена на рис. 3.

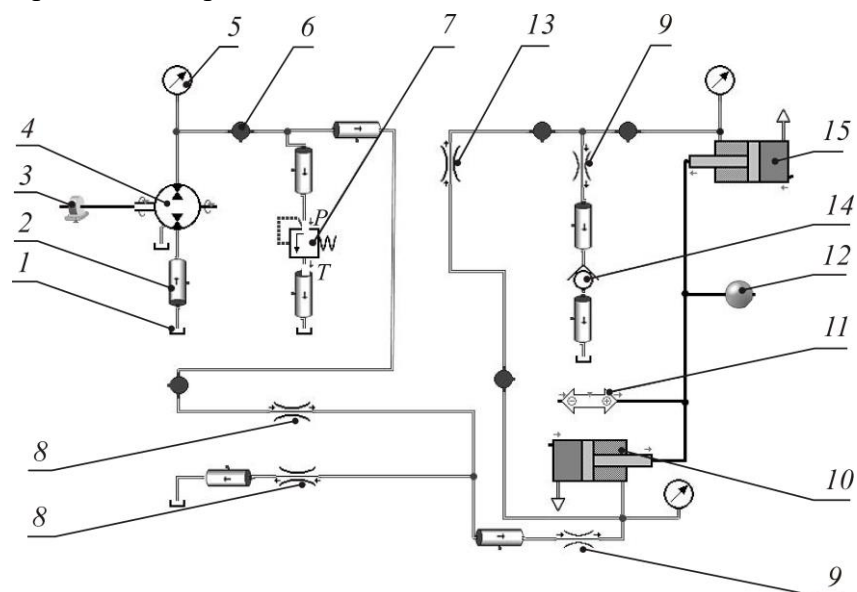


Рис. 3. Расчетная схема гидроударной системы в программе IPI SimulationX: 1 — бак; 2 — сечение трубопровода; 3 — источник постоянной частоты вращения; 4 — насос; 5 — манометр; 6 — камера постоянного объема; 7 — предохранительный клапан; 8 — дроссели, задающие моменты открытия и закрытия каналов (распределитель); 9 — сечения в корпусе гидромолота; 10 — камера холостого хода ударника; 11 — внешняя сила; 12 — масса ударника; 13 — дроссель, задающий момент открытия и закрытия канала (клапан); 14 — обратный клапан; 15 — промежуточная камера ударника

Исследования выполнялось при следующих конструктивных и энергетических параметрах: производительность насосной станции  $Q_n = 55$  л/мин; номинальное давление в напорной магистрали  $p_n = 12$  МПа; частота ударов  $\nu = 7.2$  Гц; сила, приложенная со стороны камеры прямого хода  $F = 2590$  Н; площадь камеры обратного хода  $S_3 = 12.99$  см<sup>2</sup>; рабочий ход ударника  $X = 134$  мм; скорость соударения  $v_c = 3.95$  м/с; масса ударника  $m_{уд} = 40$  кг и внутренний диаметр

корпуса  $D_k = 115$  мм. По результатам исследования построен график изменения давления в камере холостого хода в течение рабочего цикла  $P_{xx} = f(X)$ , представленный на рис. 4. Начало координат показывает положение ударника в начале рабочего хода.

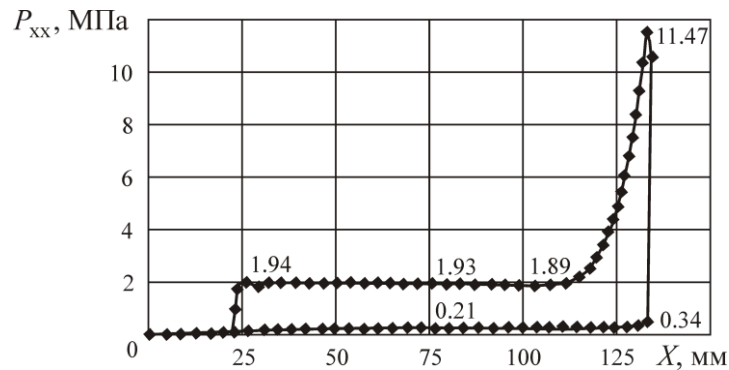


Рис. 4. График давления в камере холостого хода

Видно, что в конце рабочего хода максимальное значение давления достигает 0.34 МПа. Для сравнения на имитационной модели аналогичного ударного механизма проведено моделирование рабочего цикла без промежуточной камеры и упругого клапана и выявлено давление в конце рабочего цикла до 9.8 МПа [7, 8]. Это означает, что конструктивная схема, изображенная на рис. 2, дает возможность осуществить беспрепятственный слив энергоносителя из камеры холостого хода при высокой скорости бойка в конце рабочего хода, улучшить динамику рабочего цикла и повысить КПД машины.

#### ВЫВОДЫ

Конструктивная схема гидроударного механизма с промежуточной камерой и упругим клапаном, с распределительным устройством, не имеющим механической связи с ударным механизмом позволяет улучшить динамические параметры рабочего цикла за счет снижения давления во взводящей камере в конце рабочего хода и может являться основой создания ударной машины с изменяемой в широком диапазоне структурой ударной мощности для реализации адаптивных буровых технологических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Danilov B. B.** Theory and practice of creating equipment for drilling horizontal wells in the ground with pneumatic transport of destroyed material through a rotating pipeline, Thesis of Doct. Tech. Sci., Novosibirsk, 2009, 258 pp. (in Russian) [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. — Новосибирск, 2009. — 258 с.]
2. **Arkhipenko A. P. and Fedulov A. I.** Hydraulic percussion machines, Novosibirsk: Publishing House of the State Duma of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1991, 106 pp. (in Russian) [Архипенко А. П., Федулов А. И. Гидравлические ударные машины. — Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1991. — 106 с.]
3. **Galdin N. S. and Bedrina E. A.** Active buckets based on hydraulic hammers for excavators, Textbook. Allowance, Omsk, Publishing house SibADI, 2003. (in Russian) [Галдин Н. С., Бедрина Е. А. Ковши активного действия на основе гидроударников для экскаваторов: учеб. пособие. — Омск: Изд-во СиБАДИ, 2003.]
4. **Ushakov L. S., Kotylev Yu. E., and Kravchenko V. A.** Hydraulic impact machines, Moscow, Mashinostroenie, 2000, 415 pp. (in Russian) [Ушаков Л. С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А. Гидравлические машины ударного действия. — М.: Машиностроение, 2000. — 415 с.]

5. **Lazutkin S. L. and Lazutkina N. A.** Perspective construction of hydraulic impact device, Technological engineering, 2015, vol. 129, pp. 403–407. (in Russian) [**Лазуткин С. Л., Лазуткина Н. А.** Перспективная конструкция гидроударного устройства // Технологическая инженерия. — 2015. — Т. 129. — С. 403–407.]
6. **Graf L. E. and Kogan D. I.** Water hammer machines and tools, Moscow, Nedra, 1972, 206 pp. (in Russian) [**Граф Л. Э., Коган Д. И.** Гидроударные машины и инструмент. — М.: Недра, 1972. — 206 с.]
7. **Plokhikh V. V. and Cheshchin D. O.** Substantiation of a principal diagram and determination of constructive and energy parameters of a hydraulic machine, Fundamental and applied research of young scientists: a collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Omsk, SibADI, 2020, pp. 15–19. (in Russian) [**Плохих В. В., Чешин Д. О.** Обоснование принципиальной схемы и определение конструктивных и энергетических параметров гидроударной машины // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. — Омск: СибАДИ, 2020. — С. 15–19.]
8. **Plokhikh V. V., Danilov B. B., and Cheschin D. O.** Justification of principal diagram and study of the operating cycle of volumetric hydropercussive mechanism, Interexpo GEO-Siberia-2020. XVI Intern. scientific. ongr., National scientific. conf. “Subsoil use. Mining engineering. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology”: collection of materials, Novosibirsk, SGUGiT, 2020, vol. 2, pp. 153–161. (in Russian) [**Плохих В. В., Данилов Б. Б., Чешин Д. О.** Обоснование принципиальной схемы и исследование рабочего цикла гидроударного механизма объемного типа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020. XVI Междунар. научн. конгр., Национальная науч. конф. “Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология”: сб. материалов. — Новосибирск: СГУГиТ, 2020. — Т. 2. — С. 153–161.]