

УДК 622.233.5:622.8

Чещин Дмитрий Олегович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
отдела горной и строительной геотехники,
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
СО РАН,
630091, Новосибирск,
ул. Красный проспект, 54
e-mail: dimixch@mail.ru

Плохих Вадим Валерьевич

младший научный сотрудник
отдела горной и строительной геотехники,
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
СО РАН

**АВТОМАТИЗАЦИЯ В ГОРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И УДАРНАЯ
МАШИНА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО
КОМПЛЕКСА**

Аннотация:

Рассматривается вопрос развития средств автоматизации в горной промышленности, особо актуальный для обеспечения безопасности человека и повышения производительности на горном производстве и обостряющийся при переходе на более глубокие горизонты. Анализ состояния данного вопроса в мировой практике показал, что во многих передовых странах внедрение роботизированного и автономного оборудования на горном производстве в разы снизило травматизм персонала и повысило производительность. Установлено, что импульсные ударные системы достаточно широко распространены при разработке полезных ископаемых. Рассмотрены сферы применения ударных машин. Актуальной проблемой при создании гидравлических машин является совершенствование системы циркулирования рабочей жидкости, что способно повысить энергетические и динамические параметры таких ударных машин. Описан подход к созданию рабочих инструментов, способных реагировать на изменение рабочего процесса и обрабатываемую среду. Предложена принципиальная конструктивная схема гидроударного механизма с изменяемой структурой ударной мощности и отдельным распределительным механизмом для работы в составе роботизированного комплекса. К тому же введение дополнительной камеры в конструктивную схему ударного механизма позволило снизить давление в камере холостого хода в конце рабочего цикла, повысить его предупредительную скорость и тем самым энергию удара. Описана схема работы устройства и проведено его исследование на имитационной модели в программном комплексе ITI SimX. По результатам исследования установлено, что предложенная конструктивная схема гидравлического ударного механизма позволяет изменять свои энергетические и динамические параметры при постоянных параметрах энергоносителя.

Ключевые слова: роботизация, автоматизация, безопасность, горное производство, шахта, ударный механизм, гидроударник, имитационное моделирование.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.046

Cheshchin Dmitry O.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Department of Mining and
Construction Geotechnics,
Institute of Mining n.a. N.A.Chinakal,
Siberian Branch of RAS,
630091 Novosibirsk, 54 Krasny prospect
e-mail: dimixch@mail.ru

Plokhikh Vadim V.

Junior Researcher,
Department of Mining and
Construction Geotechnics,
Institute of Mining n.a. N.A.Chinakal,
Siberian Branch of RAS

**AUTOMATION IN THE MINING
INDUSTRY AND IMPACT MACHINE
FOR A ROBOTIC COMPLEX**

Abstract:

The paper considers the development of automation in the mining industry. This issue is especially relevant in the framework of ensuring the human safety and of improvement the productivity in mining and it exacerbates when moving to deeper horizons. An analysis of the state of this issue in world practice has shown that in many advanced countries, the introduction of robotic and autonomous equipment in the mining industry has significantly reduced the number of personnel injuries and has increased productivity. It has been established that pulse impact systems are quite widespread in the development of minerals. We study all the scope of application of impact machines. An urgent problem in the creation of hydraulic machines is the improvement of the circulation system of the working fluid. Its solution can improve the energy and dynamic parameters of such impact machines. An approach to creating working tools that can respond to changes in the workflow and the processed environment is described. A basic structural diagram of a hydropercussion mechanism is proposed with a variable structure of impact power and a separate distribution mechanism for operation as part of a robotic complex. Further, the introduction of an additional chamber in the design scheme of the impact mechanism made it possible to reduce the pressure in the idle chamber at the end of the working cycle, increasing its pre-impact speed and, thereby, the impact energy. The scheme of operation of the device is described and its study was carried out on a simulation model in the ITI SimX software package. Based on the results of the study, it was found that the proposed design scheme of the hydraulic percussion mechanism allows us to change its energy and dynamic parameters at constant parameters of the energy carrier.

Key words: robotics, automation, safety, mining production, mine, impact mechanism, hydraulic impact mechanism, simulation modeling.

Введение

Горнодобывающая промышленность постоянно сталкивается с двумя потребностями – безопасностью человека и повышением производительности в шахтах. Несовершенство технологий добычи угля в 25 % случаев является основной причиной несчастных случаев на шахтах страны [1, 2]. В «Долгосрочной программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года» [3] отмечено, что уровень смертельного травматизма в шахтах по-прежнему остается высоким. Указывается, что при подземной добыче угля увеличивается доля выработок, где люди работают в неблагоприятных горно-геологических условиях. Большинство внезапных выбросов угля и газа, пожаров, обрушений кровли и прочих аварийных ситуаций приходится на призабойные части подземных выработок.

Большая часть неосвоенных запасов углеводородов расположена в глубоководных и подледных областях Мирового океана и удаленных районах без развитой инфраструктуры в северных широтах и за Полярным кругом. Освоение этих запасов углеводородов должно базироваться на высокотехнологических, экологически безопасных и безлюдных технологиях бурения. Руководство мировых нефтегазовых и сервисных буровых компаний интенсивно развивает безлюдные технологии бурения, повышающие экологическую безопасность, оптимизацию и интеграцию буровых операций, сокращающие многократно затраты на бурение.

В последние годы научно-технический прогресс в технологии бурения связан с развитием бурения в подводных, подледных и морских условиях. Автоматизированные системы бурения сменяются автоматическими и роботизированными буровыми системами. Одновременно происходит ужесточение требований к международным и российским стандартам для технических средств, технологий и производственных операций при бурении как на море, так и на суше [4].

Таким образом, актуальными являются задачи по разработке как технологий, так и самих средств автоматизации и, в частности, роботизации, что позволяет вывести рабочих из опасной зоны, тем самым обеспечить повышение безопасности ведения работ, снижение аварийности и травматизма при разработке полезных ископаемых.

Состояние вопроса в мире

В зарубежных странах роботизация добывающих компаний идет по разнообразным направлениям. Роботизация позволяет избавиться от части расходов, таких как заработная плата работников, затраты на ремонт оборудования, топливные расходы, так как роботы аккуратнее обращаются с оборудованием и оптимизируют скорость работы.

Так, например, компания «Вист Майнинг Технолоджи» разработала и предлагает технологии для создания роботизированных участков горных работ [5]. На таких участках добычу будет вести роботизированная и дистанционно-управляемая техника – самосвалы, экскаваторы, погрузчики, бульдозеры, буровые станки, автономный железнодорожный транспорт.

Ученые из Перми разработали «робот-шахтера», который, по их идее, должен выполнять все необходимые операции в шахте [6]. Его можно применять как при буровзрывных, так и при установочно-наладочных работах. Одним из преимуществ данного робота является то, что он малогабаритен с рукой-манипулятором и располагается на движущей платформе.

Автономное оборудование компании Sandvik позволяет решать все задачи, которые ежедневно ставятся перед горными предприятиями. Это и проведение горнокапитальных и подготовительных выработок, выпуск руды из камеры самоходными ПДМ, транспортировка руды по концентрационным горизонтам и пр. Оборудование компании может работать полностью автономно, то есть без участия оператора, даже

дистанционного, и дистанционно управляться с поверхности посредством сетей передачи данных [7].

Компания GHN Group совместно с Nerospec SK разрабатывает решения как для полной автоматизации техники, так и для дистанционного управления, при котором оператор может с безопасного расстояния управлять погрузочно-доставочными машинами, подземными самосвалами или буровыми установками [7].

Решения по автоматизации от Nerospec SK включают зондирование окружающей среды и соответствующие ей алгоритмы автоматизации. С помощью этих технологий можно решать задачи по выстраиванию маршрутов движения техники, автономному вождению и навигации, а также по автоматической погрузке и выгрузке материала. Машина анализирует окружающую среду с помощью видео, радара, лидара и датчиков Bluetooth.

Норвежская компания Robotic Drilling Systems AS (RDS) специализируется на автоматизации буровых установок для добычи нефти и газа. RDS разработали роботизированную систему на основе двух промышленных роботов, которые обеспечивают возможность полностью автоматического бурения скважин [8]. Манипулятор системы Drill-floor Robot DFR-1500 может управлять позиционированием предметов весом до 1500 кг, а Robotic Pipe Handler RPH-3500 – уже до 3500 кг.

Таким образом, в современном стремительно меняющемся мире автономное роботизированное оборудование решает различные задачи горной отработки, но все они направлены на достижение трех основных целей – сокращение себестоимости добычи, повышение производительности и безопасности ведения горных работ.

В концепции развития роботизированных технологий на горном производстве необходимы новые подходы к созданию соответствующих рабочих инструментов, способных реагировать на изменение рабочего процесса.

Широкое применение в машинах гидравлического привода создало предпосылки для разработки и создания компактных и мощных импульсных устройств, положенных в основу исполнительных органов горных, металлургических, дорожных, коммунальных машин и другого технологического оборудования [9].

В бывшем СССР работы по созданию импульсной техники проводились в Институтах Горного дела и Гидродинамики СО АН СССР, КарПТИ, СКБ «Импульс» АН Кирг.ССР, ИГД им. А.А. Скочинского, ДонУГИ, МГИ, ВНИИстройдормаше, на Копейском машзаводе и других организациях, которые определили приоритеты и направления в развитии отечественных исследований в данной области техники. Однако в силу ряда объективных причин Советский Союз не стал лидером в области создания и широкого внедрения импульсной техники, а инициатива перешла к зарубежным фирмам, наладившим серийное производство и применение гидроударников в промышленности.

Большинство исследователей сходятся на том, что производительность машин ударного действия зависит от частоты ударов при условии, что энергия удара обеспечивает превышение порога прочности грунта или породы. Избыточная энергия удара влияет на процесс переизмельчения пород и грунтов, тем самым возрастает энергоемкость процесса разрушения. Действие дополнительной статической нагрузки на инструмент позволяет увеличить в 2 – 2,5 раза эффективность разрушения прочных грунтов и пород.

Помимо разрушения грунтов машины ударного действия в строительстве применяются для уплотнения грунтов и материалов в стесненных условиях, забивания свай, ограждений, заземлений, бестраншейной прокладки трубопроводов и т. п. [10 - 12].

Межотраслевой характер и широкая область применения машин ударного действия ставят вопрос о совершенствовании существующих и создании новых конструкций машин в число важнейших научно-технических проблем, требующих глубокого

теоретического обоснования принимаемых решений и проведения представительной экспериментальной их проверки.

Конструктивная схема гидроударного механизма

Актуальной проблемой при создании гидравлических машин является совершенствование системы циркулирования рабочей жидкости, позволяющей обеспечить беспрепятственный слив энергоносителя из камеры холостого хода при высокой предударной скорости ударника в конце рабочего хода. Данное обстоятельство имеет большое значение, поскольку рабочая жидкость несжимаема, и недостаточная площадь сливной магистрали приводит к торможению ударника, из-за чего ухудшается динамика рабочего цикла [13, 14].

В перспективах развития автоматизированных и роботизированных технологий на горном производстве подобное оборудование должно быть адаптивным к внешним условиям, т.е. обеспечивать наиболее оптимальные энергетические и динамические параметры в зависимости от свойств обрабатываемого массива.

Исходя из этого разработана принципиальная конструктивная схема гидроударного механизма с изменяемой структурой ударной мощности и отдельным распределительным механизмом [15]. Данная схема приведена на рис. 1.

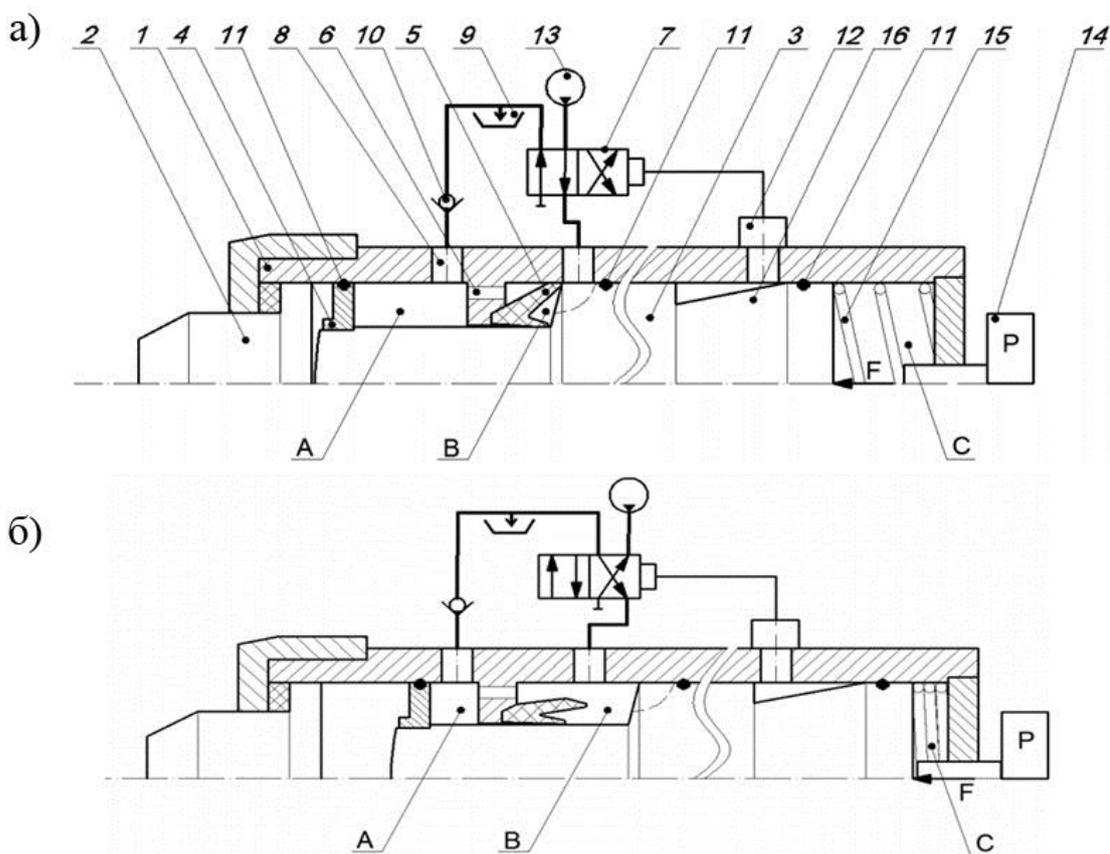


Рис. 1. Общий вид гидроударного устройства:
а – в момент удара ударника о наковальню; б – в конце холостого хода ударника

Устройство содержит корпус 1 с размещенными в нем наковальней 2 и ударником 3, жестко соединенным с поршнем 4, образующие камеру А слива, камеру В холостого хода и камеру С рабочего хода (далее камеры А, В, С), эластичный клапан 5, установленный на корпусе 1 в камере В с возможностью сообщения камеры В с камерой А через переливные каналы 6, выполненные в корпусе 1, распределитель 7, соеди-

ненный с камерой B через радиальное отверстие в корпусе 1 , канал 8 слива в корпусе 1 , соединенный со сливным баком 9 через обратный клапан 10 , уплотнения 11 , установленные между ударником 3 , поршнем 4 и корпусом 1 , датчик 12 положения ударника 3 , соединенный с распределителем 7 электрической связью, источник 13 давления, ресивер 14 , соединенный каналом с камерой C (и/или другой упругий элемент, например пружина 15). В задней части ударника 3 для определения его положения организован конус 16 .

Принцип действия устройства следующий. Со стороны камеры C на ударник 3 действует сила F , созданная давлением накаченного газа в ресивере 14 и/или другим упругим элементом, позволяющим достичь одинакового эффекта (например, пружиной 15), для осуществления рабочего хода. Герметичность камер A , B и C обеспечивается уплотнениями 11 .

Положение ударника 3 определяется с помощью датчика 12 положения (далее - датчик 12). При наличии на ударнике 3 конуса 16 датчик 12 измеряет изменяющийся при работе устройства зазор между корпусом 1 и поверхностью конуса 16 . Таким образом, датчик 12 определяет положение ударника 3 в корпусе 1 и в зависимости от него переключает распределитель 7 , подключая камеру B к источнику 13 давления или к сливному баку 9 . В результате создается переменное усилие на ударник 3 со стороны камеры B , приводящее его в движение.

Камера A постоянно подключена к сливному баку 9 через обратный клапан 10 . В предупредительный момент ударник 3 , сталкиваясь с эластичным клапаном 5 , начинает прижимать его к корпусу 1 , тем самым закрывая переливные каналы 6 и перекрывая камеру A от камеры B . Через распределитель 7 в камеру B подается энергоноситель, давление которого начинает двигать ударник 3 в режиме холостого хода, и в тот же момент давление удерживает эластичный клапан 5 в закрытом состоянии и прижимает его к ударнику 3 , обеспечивая герметичность камеры B . Начинается холостой ход. Датчик 12 , отслеживая положение ударника в необходимый момент подает сигнал на распределитель 7 , который переключает камеру B к сливному баку 9 , давление падает, и эластичный клапан 5 под действием собственной силы упругости принимает свое исходное положение, при этом открываются переливные каналы 6 , соединяя камеры A и B . Ударник 3 начинает рабочий ход, вытесняя энергоноситель в камеру A и на слив через распределитель 7 . Далее цикл повторяется. При холостом ходе ударника 3 происходит вытеснение энергоносителя из камеры A в сливной бак 9 посредством поршня 4 .

Введение дополнительной камеры в конструктивную схему ударного механизма позволит снизить давление в камере холостого хода в конце рабочего цикла, повысив его предупредительную скорость и тем самым энергию удара.

Использование отдельного распределительного устройства имеет ряд положительных моментов. Наиболее важный из них – это возможность использования полимерных уплотнительных элементов в подвижном сопряжении ударника и цилиндра. Следовательно, снижаются требования к точности размеров этих деталей, упрощается конструкция, повышается надежность работы машины. Вдобавок расширяется возможность регулирования режима работы, изменения структуры ударной мощности (энергии и частоты ударов), позволяющая оперативно приводить параметры энергетического воздействия в соответствие со свойствами обрабатываемого породного массива.

Исследование механизма на имитационной модели

Исследование динамики рабочего цикла гидроударной системы с промежуточной камерой проводилось на имитационной модели, построенной в программе ITI SimX. Расчетная схема модели представлена на рис. 2.

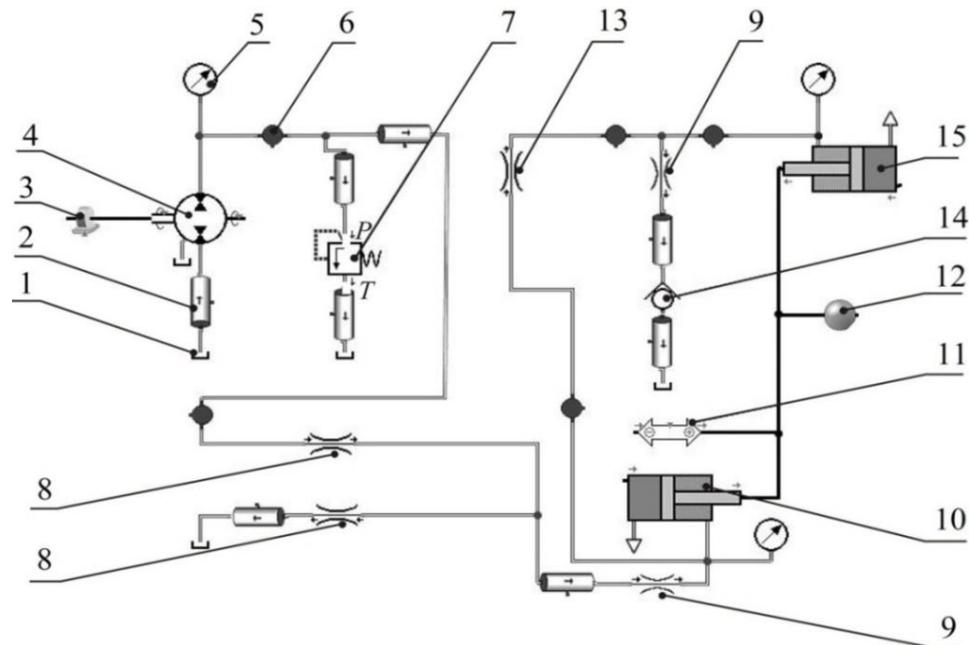


Рис. 2. Имитационная модель гидроударного механизма в программе ITISimX:
 1 – бак; 2 – сечение трубопровода; 3 – источник постоянной частоты вращения;
 4 – насос; 5 – манометр; 6 – камера постоянного объема; 7 – предохранительный клапан;
 8 – дроссели, задающие моменты открытия и закрытия каналов (распределитель);
 9 – сечения в корпусе гидромолота; 10 – камера холостого хода ударника;
 11 – внешняя сила со стороны камеры рабочего хода; 12 – масса ударника;
 13 – дроссель, задающий момент открытия и закрытия канала (клапан);
 14 – обратный клапан; 15 – промежуточная камера ударника

Имитационное моделирование выполнялось при следующих параметрах: производительность насосной станции $Q_n = 55$ л/мин; номинальное давление в напорной магистрали $p_n = 12$ МПа; сила, приложенная со стороны камеры рабочего хода $F = 2600$ Н; площадь камеры холостого хода $S_3 = 23,96$ см²; габаритный ход ударника $X = 140$ мм; масса ударника $m_{уд} = 40$ кг и внутренний диаметр корпуса $D_k = 115$ мм. По результатам моделирования построены графики изменения частоты $f=f(X)$ и энергии удара $E=f(X)$ в зависимости от изменения величины рабочего хода ударника (рис. 3).

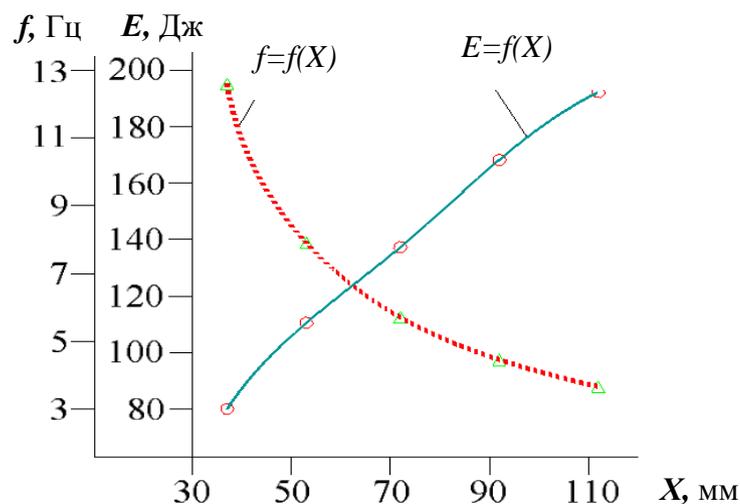


Рис. 3. Изменение частоты и энергии удара в зависимости от величины рабочего хода гидроударного механизма

Из графиков видно, что изменение величины рабочего хода в диапазоне 30 – 110 мм приводит к повышению энергии удара примерно в 2,5 раза, что сопровождается снижением частоты ударов примерно в 4,3 раза.

Выводы

Полученные данные имитационного моделирования позволяют на следующем этапе приступить к созданию макетного образца гидроударной машины с варьируемой величиной и структурой ударной мощности при неизменных параметрах энергоносителя. Дальнейшее сравнение и валидация имитационной модели с физической позволит определить конструктивные и энергетические параметры опытного образца предложенного гидроударного устройства.

Стоит отметить, что для полноценного использования ударных машин в составе роботизированного комплекса нужно решить не только вопрос управления параметрами машины, но и вопрос двухсторонней связи между элементами «рабочий инструмент – обрабатываемый массив».

Таким образом, стоит надеяться, что решение этих и других смежных вопросов позволит дать толчок к развитию, созданию и внедрению автоматизированных и, в частности, роботизированных комплексов на горных производствах отечественного рынка.

Список литературы

1. Зиновьев В.В., Стародубов А.Н., Николаев П.И., 2017. Новый подход к обоснованию геотехнологий без постоянного присутствия людей в забое. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, № 5 (123), С. 37 - 44.
2. Кравчук И.Л., Кравчук Т.С., Кутузова А.А., 2021. Анализ производственного травматизма в угольных шахтах с использованием риск-ориентированного подхода (на примере АО "СУЭК-КУЗБАСС"). *Проблемы недропользования*, № 3 (30), С. 6 - 15. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.03.006
3. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1846> (дата обращения 18.01.2021).
4. Ивлев А.П., Еремин Н.А., 2018. Петророботика: роботизированные буровые комплексы. *Бурение и нефть*, № 2, С. 8 - 12.
5. Владимиров Д.Я., 2016. Интеллектуальный карьер: эволюция или революция. *Открытые горные работы в XXI веке*, № 12, С. 50 - 55.
6. Поезжаева Е.В., 2016. Роботизация горного дела. *Науковедение*, № 7, С. 52 - 57.
7. Минаев Д., Жуков Д., Сысоев В., Растопшин П., 2020. Роботизированная и дистанционно управляемая подземная техника: внедрение, эксплуатация, перспективы. *Горная Промышленность*, № 6, С. 56 - 59
8. Самофалов Павел, 2016. Норвежские промышленные роботы: Роботизация буровых установок. *PLM.PW интернет-журнал*. URL: <http://www.plm.pw/2016/12/Robotic-Drilling-Systems.html> (дата обращения 18.01.2021).
9. Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А., 2000. *Гидравлические машины ударного действия*. М: Машиностроение, 416 с.
10. Данилов Б.Б., Чецин Д.О., 2019. Обоснование схемы управления ударным механизмом с гидравлическим взводом. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*, Т. 6., № 3. DOI: 10.15372/FPVGN2019060306
11. Беляев М.А., Пономаренко Ю.Е., 1993. Навесное оборудование для уплотнения грунтов в стесненных условиях. *Изв. вузов. Горный журнал*, № 9, С. 46 - 49.
12. Иванов М.Е., Матвеев И.Б., Искович-Лотоцкий Р.Д. и др., 1977. *Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин*. Москва: Машиностроение, 174 с.

13. Плохих В.В., Данилов Б.Б., Чешин Д.О., 2020. Обоснование принципиальной схемы и исследование рабочего цикла гидроударного механизма объемного типа. *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*, Т. 2, С. 153 - 161.

14. Плохих В.В., Чешин Д.О., 2020. Обоснование принципиальной схемы и определение конструктивных и энергетических параметров гидроударной машины. *Материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых»*, г.Омск, 6 - 7 февраля 2020 г. Омск: СибАДИ, С. 15 - 19.

15. Пат. №208326 Российская Федерация. Устройство ударного действия / Данилов Б.Б., Плохих В.В., Речкин А.А., Чешин Д.О. - № 2021118512 заявл. 25.06.2021, опубл. 14.12.2021. Бюл. №35

References

1. Zinov'ev V.V., Starodubov A.N., Nikolaev P.I., 2017. Novyi podkhod k obosnovaniyu geotekhnologii bez postoiannogo prisutstviya lyudei v zaboe [A new approach to the justification of geotechnologies without the constant presence of people in the mine]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, № 5 (123), P. 37 - 44.

2. Kravchuk I.L., Kravchuk T.S., Kutuzova A.A., 2021. Analiz proizvodstvennogo travmatizma v ugol'nykh shakhtakh s ispol'zovaniem risk-orientirovannogo podkhoda (na primere AO "SUEK-KUZBASS") [Analysis of industrial injuries in coal mines using a risk-based approach (on the example of AO "SUEK-KUZBASS")]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3 (30), P. 6 - 15. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.03.006

3. Dolgosrochnaya programma razvitiya ugol'noi promyshlennosti Rossii na period do 2030 goda [Long-term development program of the Russian coal industry for the period up to 2030]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1846> (data obrashcheniya 18.01.2021).

4. Ivlev A.P., Eremin N.A., 2018. Petrorobotika: robotizirovannye burovye komplekсы [Petro-robotics: robotic drilling complexes]. *Burenie i nef't*, № 2, P. 8 - 12.

5. Vladimirov D.Ya., 2016. Intel'ktual'nyi kar'er: evolyutsiya ili revolyutsiya [Intellectual open pit: evolution or revolution]. *Otkrytye gornye raboty v XXI veke*, № 12, P. 50 - 55.

6. Poezhaeva E.V., 2016. Robotizatsiya gornogo dela [Robotization of mining]. *Naukovedenie*, № 7, P. 52 - 57.

7. Minaev D., Zhukov D., Sysoev V., Rastopshin P., 2020. Robotizirovannaya i distantsionno upravlyaemaya podzemnaya tekhnika: vnedrenie, ekspluatatsiya, perspektivy [Robotic and remotely controlled underground equipment: implementation, operation, prospects]. *Gornaya Promyshlennost'*, № 6, S. 56 - 59

8. Samofalov Pavel, 2016. Norvezhskie promyshlennye roboty: Robotizatsiya burovnykh ustanovok [Norwegian industrial robots: Drilling rig robotization]. *PLM.PW internet-zhurnal*. URL: <http://www.plm.pw/2016/12/Robotic-Drilling-Systems.html> (data obrashcheniya 18.01.2021).

9. Ushakov L.S., Kotylev Yu.E., Kravchenko V.A., 2000. Gidravlicheskie mashiny udarnogo deistviya [Hydraulic impact machines]. M: Mashinostroenie, 416 p.

10. Danilov B.B., Cheshchin D.O., 2019. Obosnovanie skhemy upravleniya udarnym mekhanizmom s gidravlicheskim vzvodom. Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk [Justification of the control scheme of the impact mechanism with hydraulic preparation], Vol. 6., № 3. DOI: 10.15372/FPVGN2019060306

11. Belyaev M.A., Ponomarenko Yu.E., 1993. Navesnoe oborudovanie dlya uplotneniya gruntov v stesnennykh usloviyakh [Attachments for compaction of soils in cramped conditions]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*, № 9, P. 46 - 49.

12. Ivanov M.E., Matveev I.B., Iskovich-Lototskii R.D. i dr., 1977. Gidroprivod svaepogruzhayushchikh i gruntouplotnyayushchikh mashin [Hydro-drive of pile-loading and soil-compacting machines]. Moscow: Mashinostroenie, 174 p.

13. Plokhikh V.V., Danilov B.B., Cheshchin D.O., 2020. Obosnovanie printsipial'noi skhemy i issledovanie rabocheho tsikla gidroudarnogo mekhanizma ob"emnogo tipa [Substantiation of the principle scheme and study of the working cycle of a volume-type hydraulic impact mechanism]. Interekspo GEO-Sibir', Vol. 2, P. 153 - 161.

14. Plokhikh V.V., Cheshchin D.O., 2020. Obosnovanie printsipial'noi skhemy i opredelenie konstruktivnykh i energeticheskikh parametrov gidroudarnoi mashiny [Substantiation of the schematic diagram and determination of the design and energy parameters of the hydraulic impact machine]. Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodykh uchenykh", g.Omsk, 6 - 7 fevralya 2020 g. Omsk: SibADI, P. 15 - 19.

15. Pat. №208326 Rossiiskaya Federatsiya. Ustroistvo udarnogo deistviya [Pat. No. 208326 Russian Federation. Impact action device] / Danilov B.B., Plokhikh V.V., Rechkin A.A., Cheshchin D.O. - № 2021118512 zayavl. 25.06.2021, opubl. 14.12.2021. Biul. №35